



TUGAS AKHIR - MN 141581

**STUDI PENGARUH PEMANASAN AWAL PADA
PENGELASAN ULANG BAJA ASTM A36 AKIBAT
REPARASI TERHADAP SIFAT MEKANIS MENGGUNAKAN
PROSES LAS FCAW**

**Bimantara Haryudanto Pangaribowo
NRP 04111440000006**

**Dosen Pembimbing
Wing Hendroprasetyo A.P, S.T., M.Eng.**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**



TUGAS AKHIR - MN 141581

**STUDI PENGARUH PEMANASAN AWAL PADA
PENGELASAN ULANG BAJA ASTM A36 AKIBAT
REPARASI TERHADAP SIFAT MEKANIS MENGGUNAKAN
PROSES LAS FCAW**

**Bimantara Haryudanto Pangaribowo
NRP 04111440000006**

**Dosen Pembimbing
Wing Hendroprasetyo A.P, S.T., M.Eng.**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**



FINAL PROJECT - MN 141581

**STUDY OF THE EFFECT OF PREHEATING ON STEEL RE-
WORKING ASTM A36 DUE TO REPARATION OF
MECHANICAL PROPERTIES USING FCAW WELDING
PROCESS**

**Bimantara Haryudanto Pangaribowo
NRP 04111440000006**

**Supervisor
Wing Hendroprasetyo A.P, S.T., M.Eng.**

**DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE & SHIPBUILDING ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2018**

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI PENGARUH PEMANASAN AWAL PADA PENGELASAN ULANG BAJA ASTM A36 AKIBAT REPARASI TERHADAP SIFAT MEKANIS MENGGUNAKAN PROSES LAS FCAW

TUGAS AKHIR

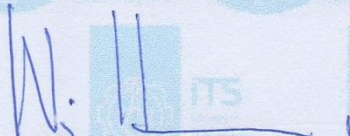
Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Konstruksi
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

BIMANTARA HARYUDANTO PANGARIBOWO
NRP 04111440000006

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing


Wing Hendropresetvo Akbar Putra, S.T., M.Eng.
NIP 19700615 199512 1 001

Mengetahui,
Kepala Departemen Teknik Perkapalan



Ir. Wasis Dwi Arsyawan, M.Sc., Ph.D.
NIP 19640210 198903 1 001

SURABAYA, 12 JULI 2018

LEMBAR REVISI

STUDI PENGARUH PEMANASAN AWAL PADA PENGELASAN ULANG BAJA ASTM A36 AKIBAT REPARASI TERHADAP SIFAT MEKANIS MENGGUNAKAN PROSES LAS FCAW

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir
Tanggal 5 Juli 2018

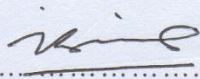
Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Konstruksi
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

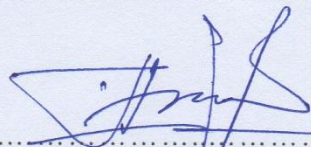
BIMANTARA HARYUDANTO PANGARIBOWO
NRP 04111440000006

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:


1. Dr. Ir. I Ketut Suastika



2. Totok Yulianto, S.T., M.T.




3. Dony Setyawan, S.T., M.Eng.



Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Wing Hendropasetyo A.P, S.T., M.Eng.



SURABAYA, 12 JULI 2018

Dipersembahkan kepada kedua orang tua, Kuwat dan Sri Purwantini,
serta keluarga saya atas segala dukungan dan doanya

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT, karena atas karunia dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“STUDI PENGARUH PEMANASAN AWAL PADA PENGELASAN ULANG BAJA ASTM A36 AKIBAT REPARASI TERHADAP SIFAT MEKANIS DENGAN MENGGUNAKAN PROSES LAS FCAW”** dengan baik.

Pada kesempatan ini Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu penyelesaian Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Bapak Wing Hendropasetyo Akbar Putra, S.T, M.Eng. selaku Dosen Pembimbing atas bimbingan, ilmu dan motivasinya selama pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini;
2. Bapak Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D. selaku Ketua Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS;
3. Bapak Dr. Ir. I Ketut Suastika, Bapak Totok Yulianto, S.T., M.T, Bapak Dony Setyawan, S.T., M.Eng. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan sarannya untuk perbaikan Laporan Tugas Akhir ini;
4. Bapak Totok Yulianto, S.T, M.T, selaku Kepala Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Kapal Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS atas bantuannya selama pengerjaan Tugas Akhir ini dan atas ijin pemakaian fasilitas laboratorium;
5. Bapak Ir. Triwilaswandio Wuruk Pribadi, M.Sc. selaku Kepala Laboratorium Teknologi Produksi dan Manajemen Perkapalan Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS atas bantuannya selama pengerjaan Tugas Akhir ini dan atas ijin pemakaian fasilitas laboratorium;
6. Bapak Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D. selaku dosen wali penulis selama menjalani perkuliahan di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS;
7. Pak Kuwat, Ibu Sri Purwantini, Mas Bondan dan Adek Iqbal selaku keluarga penulis yang selalu memberikan dukungan, doa, motivasi dan kasih sayang;
8. Retno Widyarti selaku teman, sahabat dan orang yang selalu menemani, mengingatkan serta memotivasi penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir;

9. Pak Pardi, Pak Deny, Pak Didik, Pak Fairil, Mas Agil, Mas Joko, Mas Ergie atas segala saran dan waktu yang diberikan untuk membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir;
10. Keluarga P-54 (DEADRISE) yang selalu mendukung dan berjuang bersama mulai awal masuk perkuliahan hingga lulus;

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, sehingga kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan. Akhir kata semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak.

Surabaya, 12 Juli 2018

Bimantara Haryudanto Pangaribowo

STUDI PENGARUH PEMANASAN AWAL PADA PENGELASAN ULANG BAJA ASTM A36 AKIBAT REPARASI TERHADAP SIFAT MEKANIS MENGGUNAKAN PROSES LAS FCAW

Nama Mahasiswa : Bimantara Haryudanto Pangaribowo
NRP : 04111440000006
Departemen / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing : Wing Hendroprasetyo A.P, S.T., M.Eng.

ABSTRAK

Dalam industri perkapalan, proses pengelasan merupakan aspek yang penting dimana kualitas pengelasan menjadi salah satu faktor penilaian kualitas kapal tersebut. Dalam pekerjaan di lapangan sering terjadi kesalahan dalam proses pengelasan ataupun untuk perawatan kapal sehingga perlu dilakukan *replating*. Pengelasan ulang dapat terjadi pada material yang mengalami *replating* akibat kesalahan atau digunakan untuk perawatan kapal tersebut. Pemanasan awal (*preheat*) merupakan metode perlakuan panas yang dilakukan dalam proses pengelasan. Tujuan utama dari pemanasan awal adalah memperlambat laju pendinginan pada logam las dan logam dasar sehingga menghasilkan struktur logam lebih ulet yang memiliki ketahanan terhadap retak lebih besar. Tujuan dari Tugas Akhir ini untuk mengetahui pengaruh dilakukannya pemanasan awal pada pengelasan ulang dan sifat mekanis pada logam las akibat pengelasan ulang.

Dalam Tugas Akhir ini dilakukan pengelasan ulang sebanyak tiga kali dengan perlakuan pemanasan awal (*preheat*). Suhu pemanasan awal maksimum sebesar 200°C dan suhu *interpass* maksimum sebesar 200°C. Proses pengelasan yang digunakan untuk pengelasan baja karbon ASTM A36 adalah *flux cored arc welding* (FCAW). Selanjutnya dilakukan pengujian yang mencakup : uji tarik, uji kekerasan, uji *impact*, dan uji metalografi.

Berdasarkan hasil pengujian dapat diketahui bahwa nilai kuat tarik tertinggi sebesar 607.33 N/mm² pada material dengan 1 kali pengelasan (*no rework*) dan nilai kuat tarik terendah sebesar 550.88 N/mm² pada material dengan 4 kali pengelasan (3 x *rework*). Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada daerah *weld metal* dengan material dengan 1 kali pengelasan (*no rework*) sebesar 182.4 HV dan nilai kekerasan terendah terdapat pada daerah *base metal* dengan material dengan 4 kali pengelasan (3 x *rework*) sebesar 138.8 HV. Hasil pengujian *impact* pada *weld metal* diketahui bahwa energi *absorb* semakin besar, dengan nilai energi *absorb* terendah pada material dengan 1 kali pengelasan (*no rework*) sebesar 132 Joule dan nilai energi *absorb* tertinggi pada material dengan 4 kali pengelasan (3 x *rework*) sebesar 139 Joule. Dari hasil uji metalografi dapat diamati bahwa butiran *pearlite* dan *ferrite* terbentuk semakin besar dan rapat karena terdapat pengaruh panas akibat dilakukan pengelasan ulang dan proses pemanasan awal (*Preheat*), dimana semakin besar ukuran butir maka akan semakin kecil angka kekerasan pada sebuah material.

Kata kunci: ASTM A36, jumlah *rework*, *preheat*, kuat tarik, kekerasan, *impact*, metalografi.

STUDY OF THE EFFECT OF PREHEATING ON STEEL RE-WORKING ASTM A36 DUE TO REPARATION OF MECHANICAL PROPERTIES USING FCAW WELDING PROCESS

Author : Bimantara Haryudanto Pangaribowo
Student Number : 04111440000006
Department / Faculty : Naval Architecture / Marine Technology
Supervisor : Wing Hendroprasetyo A.P, S.T., M.Eng.

ABSTRACT

In the shipbuilding industry, the welding process is an important aspect in which the quality of welding becomes one of the factors assessing the quality of the ship. Replating is sometime necessary in ship maintenance. Re-welding may occur on materials undergoing replating. Preheat is a method of heat treatment conducted prior to welding process. The main purpose of preheating is to slow the cooling rate of the weld joint thus producing a more ductile structure which has greater resistance to cracking. The purpose of this final project to determine the effect of preheating on the re-welding and associated mechanical properties due to replating.

Re-welding were carried out three times preceded by preheating the joints. The preheating maximum temperature is 200°C and the interpass maximum temperature is 200°C. The welding process used for ASTM A36 carbon steel welding is flux cored arc welding (FCAW). Further mechanical tests were: tensile test, hardness test, impact test, and metallographic test.

Based on the test results, the highest tensile strength value of 607.33 N/mm² on the material with 1 times welding (no rework) and the lowest tensile strength value of 550.88 N/mm² on the material with 4 times welding (3 x rework). The highest hardness value is in the weld metal area with 1 welding (no rework) material of 182.4 HV and the lowest hardness value is in base metal area with 4 x rework material of 138.8 HV. The result of impact test on weld metal is known that the absorb energy is higher, with the lowest absorb energy value on the material with 1 times welding (no rework) of 132 Joule and the highest absorb energy value in material with 4 times welding (3 x rework) of 139 Joule. Bigger microstructure of ferrite and pearlite matrices due to the effect of heat due to re-welding and preheating process, where the bigger grain size will be the smaller the hardness of the values material.

Keywords: ASTM A36, number of re-welding, preheat, tensile strength, hardness, impact, metallographic.

DAFTAR ISI

LEMBAR REVISI.....	iv
HALAMAN PERUNTUKAN.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK.....	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1. Latar Belakang Masalah	1
I.2. Perumusan Masalah	2
I.3. Tujuan	2
I.4. Batasan Masalah	2
I.5. Manfaat	3
I.6. Hipotesis	3
BAB II STUDI LITERATUR	5
II.1. Dasar Teori	5
II.1.1. Teori Dasar Pengelasan	5
II.1.2. Baja Karbon A36	5
II.1.3. <i>Preheat</i> atau Pemanasan Awal	6
II.1.4. Flux Cored Arc Welding (FCAW)	11
II.1.5. Sifat Mekanik	14
II.1.6. Pengujian Tarik.....	14
II.1.7. Pengujian Kekerasan	16
II.1.8. Pengujian Metalografi	18
II.1.9. Pengujian <i>Impact</i>	18
II.1.10. <i>Hall Petch Equation</i>	20
II.2. Tinjauan Pustaka.....	21
BAB III METODOLOGI	23
III.1. Bahan dan Peralatan.....	23
III.1.1. Bahan Penelitian	23
III.1.2. Peralatan Penelitian.....	23
III.1.2.1. Peralatan Persiapan Material	23
III.1.2.2. Peralatan Proses Pengelasan.....	23
III.1.2.3. Peralatan Pembuatan Spesimen Uji.....	24
III.1.2.4. Peralatan Proses Pengujian.....	24
III.2. Proses Pengelasan	24
III.2.1 Pelaksanaan Pengelasan	26
III.2.1.1. Tahap Persiapan	26
III.2.1.2. Tahap Pengelasan.....	27
III.2.2 Aplikasi <i>Preheat</i> atau Pemanasan Awal.....	28
III.2.3 <i>Interpass Temperature</i>	30
III.3. Prosedur Penelitian	31

III.3.1.	Pemotongan Material	32
III.3.2.	Pembuatan Spesimen Uji	33
III.3.3.	Pengujian Tarik	33
III.3.4.	Pengujian Impact	34
III.3.5.	Pengujian Metalografi dan <i>Hardness</i>	35
III.4.	Lokasi Pengelasan dan Pengujian	36
III.5.	Bagan Alir	36
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN		39
IV.1.	Analisis Hasil Pengujian Tarik	39
IV.2.	Analisis Hasil Pengujian Kekerasan	42
IV.3.	Analisis Hasil Pengujian <i>Impact</i>	44
IV.4.	Analisis Hasil Pengujian Metalografi	46
IV.5.	Hubungan Keseluruhan Pengujian	50
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		53
V.1.	Kesimpulan	53
V.2.	Saran	54
DAFTAR PUSTAKA		55
LAMPIRAN		
LAMPIRAN A PERALATAN DAN BAHAN		
LAMPIRAN B WPS DAN MILL TEST CERTIFICATE		
LAMPIRAN C DATA HASIL PENGUJIAN		
BIODATA PENULIS		

DAFTAR GAMBAR

Gambar II. 1 Diagram CCT (<i>Continuous Cooling Transformation</i>).....	7
Gambar II. 2 Diagram Fasa Karbida	9
Gambar II. 3 Hasil <i>Annealing</i> pada Baja.....	9
Gambar II. 4 Proses Deposit FCAW	12
Gambar II. 5 Pengaturan Mesin Las FCAW	13
Gambar II. 6 Diagram Regangan-Tegangan.....	16
Gambar II. 7 <i>Typical Pendulums and Anvils for Charpy Machines</i>	19
 Gambar III. 1 Material Baja A36.....	 23
Gambar III. 2 Pembagian Test Coupon Setiap Pengelasan Ulang	26
Gambar III. 3 Pemasangan <i>Stopper</i>	27
Gambar III. 4 Proses Pengelasan <i>Test Coupon</i> 1.....	28
Gambar III. 5 Titik Pengukuran Temperatur Pemanasan Awal	29
Gambar III. 6 Proses Pengukuran Temperatur Pemanasan Awal	30
Gambar III. 7 Contoh Pengambilan Spesimen pada <i>Test Coupon</i>	31
Gambar III. 8 Proses Pemotongan <i>Test Coupon</i>	32
Gambar III. 9 Spesimen Uji Tarik.....	34
Gambar III. 10 Dimensi dan Bentuk Spesimen Pengujian <i>Impact</i>	35
Gambar III. 11 Contoh Hasil Foto Mikro Pembesaran 400x	35
 Gambar IV. 1 Grafik Pengujian Tarik.....	 41
Gambar IV. 2 Grafik Pengujian Kekerasan.....	43
Gambar IV. 3 Grafik Pengujian <i>Impact</i>	45
Gambar IV. 4 Foto Mikro Material 1 (<i>no rework</i>) Daerah HAZ Pembesaran 100x dan 400x	46
Gambar IV. 5 Foto Mikro Material 2 (<i>1x rework</i>) Daerah HAZ Pembesaran 100x dan 400x	46
Gambar IV. 6 Foto Mikro Material 3 (<i>2x rework</i>) Daerah HAZ Pembesaran 100x dan 400x	47
Gambar IV. 7 Foto Mikro Material 4 (<i>3x rework</i>) Daerah HAZ Pembesaran 100x dan 400x	47
Gambar IV. 8 Foto Mikro Material 1(<i>no rework</i>) Daerah <i>Weld Metal</i> Pembesaran 100x dan 400x	48
Gambar IV. 9 Foto Mikro Material 2 (<i>1x rework</i>) Daerah <i>Weld Metal</i> Pembesaran 100x dan 400x	48
Gambar IV. 10 Foto Mikro Material 3 (<i>2x rework</i>) Daerah <i>Weld Metal</i> Pembesaran 100x dan 400x	48
Gambar IV. 11 Foto Mikro Material 4 (<i>3x rework</i>) Daerah <i>Weld Metal</i> Pembesaran 100x dan 400x	49

DAFTAR TABEL

Tabel II. 1. Komposisi Kimia ASTM A36	6
Tabel III. 1 Parameter Pengelasan <i>Flux Cored Arc Welding</i> (FCAW)	25
Tabel III. 2 Penentuan Titik Uji Kekerasan	35
Tabel IV. 1 Data Pengujian Tarik	40
Tabel IV. 2 Data Pengujian Kekerasan	42
Tabel IV. 3 Data Pengujian <i>Impact</i>	44
Tabel IV. 4 Data Pengujian tanpa Pemanasan Awal	50
Tabel IV. 5 Data Pengujian dengan Pemanasan Awal	51
Tabel IV. 6 Data Persentase Rata-Rata Pengujian	51

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang Masalah

Industri perkapalan yang semakin maju seperti sekarang, dalam proses penyambungan material seperti baja dilakukan dengan teknologi pengelasan. Pengelasan dan penyambungan adalah teknologi manufaktur dasar yang diperlukan untuk setiap sektor industri. Dalam proses reparasi kapal dan *replating* tidak lepas pada proses pengelasan ulang atau *rework* dikarenakan adanya kesalahan yang terjadi dalam pengerjaan. Akibat dari proses pengelasan dapat menyebabkan terjadinya cacat las, deformasi ataupun retak las yang mengharuskan dilakukannya perbaikan salah satunya dengan pengelasan ulang. Hal tersebut dapat mempengaruhi penurunan kekuatan material dan struktur mikro pada material.

Baja memiliki beberapa macam paduan yang dapat diberikan perlakuan panas dan tidak dapat diberikan perlakuan panas. Baja ASTM A36 merupakan salah satu yang tergolong kedalam baja yang dapat diberikan perlakuan panas sehingga dapat dilakukan pemanasan awal ketika akan dilakukan pengelasan. Baja ASTM A36 termasuk kedalam baja karbon rendah dengan kandungan karbon $\%C < 3\%$ dan unsur penyusun utamanya terdiri dari besi (Fe) dan karbon (C) serta unsur lain seperti Mn, Si, Ni, Cr dan lain sebagainya dalam persentase kecil. Baja karbon rendah mempunyai sifat mekanis yang baik, kekuatan tarik relatif tinggi yaitu antara 415 – 550 MPa (60.000 – 80.000 psi), ketangguhan baik dan relatif ulet.

Preheat atau pemanasan awal merupakan panas yang diberikan kepada logam induk pada suhu yang tepat sebelum dilakukan pengelasan. Salah tujuan dari *preheat* adalah untuk mengurangi perbedaan temperatur pada daerah pengelasan. Panas pengelasan dapat menyebabkan terjadinya perubahan struktur mikro pada material. Akibat terjadi perubahan struktur pada material, maka dapat menurunkan kekuatan dan ketahanan korosi yang dapat menyebabkan daerah las menjadi getas.

Kesalahan dalam proses pengelasan baik kesalahan pada penggunaan elektrode dan kesalahan penerapan *filler* yang tidak sesuai dapat menjadi faktor penyebab terjadinya cacat las. Dalam bidang perkapalan pada sambungan las pelat lunas sering terjadi kesalahan pengelasan. Dengan demikian dapat mengakibatkan berubahnya struktur metalurgi dan

kekuatan dari material baja. Sehingga perlu adanya perlakuan *rework*. Apabila kesalahan dalam proses pengelasan dilakukan berulang kali, maka perlu dilakukan multiple *rework* dan dilakukan pengujian yang sesuai untuk mengetahui kekuatan material baja pada daerah *weld joint*. Untuk mengurangi terjadinya perbedaan temperatur daerah las pada proses pengelasan, dilakukan pemanasan awal pada material baja ASTM A36. Berdasarkan permasalahan yang ada, maka tugas akhir ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh *preheat* terhadap pengelasan ulang baja ASTM A36 ditinjau dari sifat mekanik pada pelat lunas.

I.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, beberapa permasalahan yang akan diselesaikan adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh pemanasan awal baja ASTM A36 terhadap hasil pengelasan ulang?
2. Bagaimana sifat mekanis pada logam las material baja ASTM A36 akibat pengelasan ulang?

I.3. Tujuan

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh pemanasan awal baja ASTM A36 terhadap pengelasan ulang
2. Mengetahui sifat mekanis pada logam las material baja ASTM A36 akibat pengelasan ulang

I.4. Batasan Masalah

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini permasalahan difokuskan pada:

- a. Material yang digunakan adalah baja ASTM A36 dengan bentuk sambungan butt joint (*single v*)
- b. Ukuran *test coupon* 400x150x16 mm 4 buah dan *test coupon* 400x150x14 mm 4 buah
- c. *Electrode* yang digunakan pada pengelasan *Flux Core Arc Welding* (FCAW) adalah E 71-T1
- d. Suhu *preheat* ditentukan 200°C
- e. Pengelasan ulang dilakukan sebanyak 3 kali pada tempat yang sama
- f. Pengujian kekerasan permukaan dilakukan dengan metode hardness vickers pada 27 titik tiap *test coupon*
- g. Jumlah *test piece* pada pengujian tarik sebanyak 2 *piece* tiap *test coupon*

- h. Jumlah *test piece* pada pengujian impact sebanyak 3 *piece* tiap *test coupon* dengan lokasi takik pada *weld metal*
- i. Pengujian struktur mikro dilakukan pada lokasi *weld metal* & HAZ

I.5. Manfaat

1. Secara akademik, hasil evaluasi pengaruh pemanasan awal pada pengelasan ulang terhadap sifat mekanik ini dapat dijadikan acuan untuk proses *replating* / *rework* pada galangan kapal
2. Secara praktis, dapat dijadikan referensi dalam menentukan pengaruh pemanasan awal pada pengelasan ulang baja ASTM A36 yang optimal ditinjau pada variasi maksimal 3x *rework*.

I.6. Hipotesis

Hipotesis dari tugas akhir ini adalah:

- a. *Preheat* atau pemanasan awal akan berpengaruh baik pada struktur mikro material pada kuat tarik dan kekerasan material karena mengurangi perbedaan temperatur antara material dengan suhu saat akan dilakukan pengelasan.
- b. Pengelasan ulang akan mempengaruhi nilai kuat tarik dari sambungan las pada material. Semakin banyak pengelasan ulang dilakukan, maka semakin kecil nilai kuat tarik yang dihasilkan karena struktur mikro semakin besar dan bersifat getas.
- c. Pengelasan ulang akan mempengaruhi nilai energi *absorb* dari sambungan las pada material. Bahwa semakin banyak pengelasan ulang dilakukan, maka semakin besar nilai energi *absorb* yang dihasilkan karena semakin banyak dilakukan pengelasan ulang maka struktur mikro semakin besar sehingga material akan bersifat getas.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

STUDI LITERATUR

II.1. Dasar Teori

II.1.1. Teori Dasar Pengelasan

Definisi pengelasan menurut *American Welding Society* adalah proses penyambungan logam atau non logam yang dilakukan dengan memanaskan material yang akan disambung hingga temperatur pencairan yang dilakukan dengan atau tanpa menggunakan tekanan (*pressure*), atau dengan atau tanpa menggunakan logam pengisi (*filler*). Dari definisi tersebut dapat diambil pengertian jika pengelasan merupakan proses penyambungan logam atau non logam yang dilakukan dengan memanaskan daerah setempat yang akan disambung hingga mencair dan selanjutnya terjadi ikatan metalurgi pada logam tersebut. [AWS D1.1, 2015]

Pengelasan adalah proses penyambungan secara metalurgi dengan mengaplikasikan beberapa jenis sumber panas. Pengelasan juga dapat diartikan sebagai “sebuah proses penyambungan yang menghasilkan penggabungan dari material-material dengan memanaskannya hingga temperatur pengelasan dengan atau tanpa adanya tekanan atau hanya dengan menggunakan tekanan, dan dengan atau tanpa penggunaan logam pengisi,” [JWES-IWS, 2011]

(DIN) *Deutsche Industrie Normen* mendefinisikan las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilakukan pada keadaan lumer atau cair. Dari definisi diatas dapat dijabarkan bahwa las adalah sambungan setempat dari berbagai batang logam dengan menggunakan energi panas. [Wiryo Sumarto, 2000]

Pengelasan merupakan salah satu teknik penyambungan dua bagian logam menjadi satu dengan cara mencairkan sebagian logam induk tanpa mengurangi kekuatan dan bentuk dari material logam tersebut dan menghasilkan sambungan yang kontinu. Selain itu, pengelasan cukup ekonomis dan efisien karena cara penyambungannya dengan cara tetap, artinya tidak mudah untuk melepas atau membongkar kembali.

II.1.2. Baja Karbon A36

ASTM A36 merupakan material yang sangat banyak digunakan. Memiliki *weldability* yang sangat baik dan sangat cocok untuk berbagai macam proses produksi, seperti *grinding*, *punching*, *tapping*, *drilling* dan permesinan. ASTM A36 memiliki nilai *yield strength* yang

lebih rendah dibandingkan *Cold Rolled Steel* C1018 (54.000 psi), hal tersebut membuat ASTM A36 lebih mudah untuk dibentuk. Pada Tabel II.1 merupakan komposisi kimia yang terdapat dalam ASTM A36. ASTM A36 biasa digunakan dalam bentuk seperti *Rectangle bar*, *Circular rod*, *Square bar*, *H-beams* and *I-beams* [ASME Sect.II A, 2017]

Sifat baja karbon sangat tergantung pada kadar karbon. Oleh karena itu, baja jenis ini dikelompokkan kedalam tiga kelompok besar berdasarkan kadar karbon yang terkandung di dalamnya. Baja Karbon Rendah (*Low Carbon Steel/Mild steel*), kadar karbon sampai 0.30%. Strukturnya terdiri dari ferrit dan sedikit perlit, sehingga baja ini kekuatannya relatif rendah, lunak tetapi keuletannya tinggi. Baja ini tidak dapat dikeraskan, kecuali dengan pengerasan permukaan. Baja Karbon Menengah (*Medium Carbon Steel*), kadar karbon 0.30-0.70% masih terdiri dari ferrit dan perlit juga, dengan perlit cukup banyak, sehingga baja ini lebih kuat dan keras, serta dapat dikeraskan tetapi getas. Baja Karbon Tinggi (*High carbon steel*), kadar karbon lebih dari 0.70% lebih kuat dan lebih keras lagi, tetapi keuletan dan ketangguhannya rendah. Pada baja karbon apabila semakin besar kandungan karbonnya maka material akan semakin kuat tetapi ketangguhannya menurun. [ASME Sect.II A, 2017]

Tabel II. 1. Komposisi Kimia ASTM A36

<i>Element</i>	<i>Content</i>
Carbon, C, max, %	0.25%
Copper, Cu, min, %	0.2%
Iron, Fe	98%
Manganese, Mn, %	0.8%
Phosphorus, P, max, %	0.03%
Silicon, Si, %	0.4%
Sulfur, S, max, %	0.03%

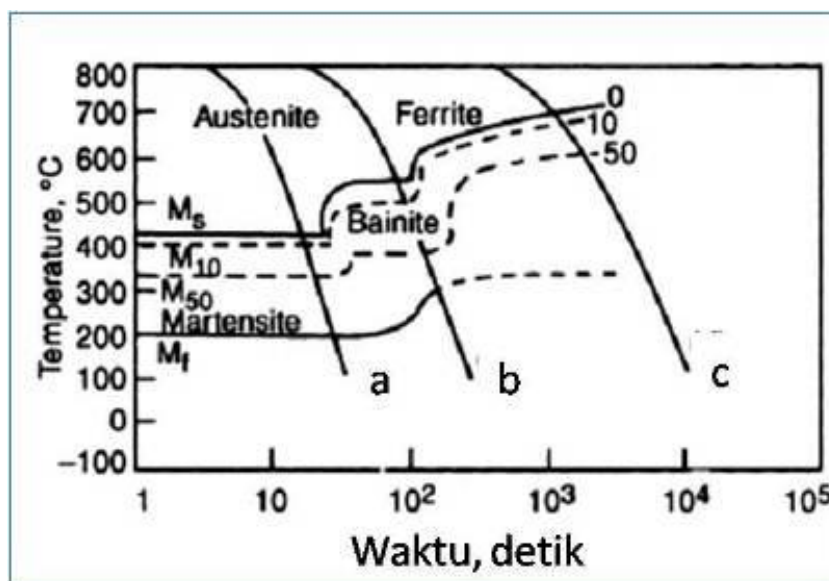
Sumber: ASME Sect.II A, 2017

II.1.3. Preheat atau Pemanasan Awal

Pemanasan awal atau *preheat* merupakan panas yang diberikan kepada suatu logam yang akan dilas. *Preheat temperature* merupakan suhu dari logam induk (*base metal*) disekitar area yang akan dilas, sebelum pengelasan itu dimulai. (AWS, 2015). Terdapat empat alasan utama untuk memanfaatkan perlakuan *preheat* (Funderburk, 1997):

- 1) Memperlambat laju pendinginan pada logam las dan logam dasar sehingga menghasilkan struktur logam lebih ulet yang memiliki ketahanan terhadap retak yang lebih besar
- 2) Memungkinkan hidrogen dapat terdifusi keluar sehingga mengurangi potensi retak
- 3) Mengurangi tegangan sisa dalam logam las dan pada daerah HAZ
- 4) Mengurangi resiko patah getas dan meningkatkan ketangguhan logam las

Laju pendinginan setelah pengelasan dipengaruhi oleh besarnya temperatur *preheat*, dimana semakin tinggi temperatur menyebabkan pendinginan semakin lama dan kekerasan mikrostruktur menjadi lebih rendah. Hal tersebut dapat ditunjukkan pada Gambar II.1



Gambar II. 1 Diagram CCT (*Continuous Cooling Transformation*)

Sumber: Callister, 2007

Pada Gambar II. 1 menunjukkan bahwa baja yang diketahui 0.2 % yang telah diautenisasi pada temperatur 920°C, kemudian didinginkan dengan laju yang berbeda sampai temperatur 200°C dan 250°C. kurva pendinginan (a) menunjukkan pendinginan secara kontinyu yang sangat cepat dari temperatur austenite sekitar 920°C ke temperatur 200°C. Laju pendinginan cepat ini menghasilkan dekomposisi fasa austenite menjadi martensite. Fasa austenite akan mulai terdekomposisi menjadi martensite pada temperatur M_s , martensite start. Sedangkan akhir pembentukan martensite akan berakhir ketika pendinginan mencapai temperatur M_f , martensite finish.

Kurva pendinginan (b) menunjukkan pendinginan kontinyu dengan laju sedang/medium dari temperatur 920°C sampai 250°C. Dengan laju pendinginan kontinyu ini fasa austenite terdekomposisi menjadi struktur bainite. Kurva pendinginan (c) menunjukkan

pendinginan kontinyu dengan laju pendinginan lambat dan temperatur 920°C sampai 250°C. Pendinginan lambat ini menyebabkan fasa austenite terdekomposisi menjadi fasa ferrite dan pearlite. [Callister, 2007]

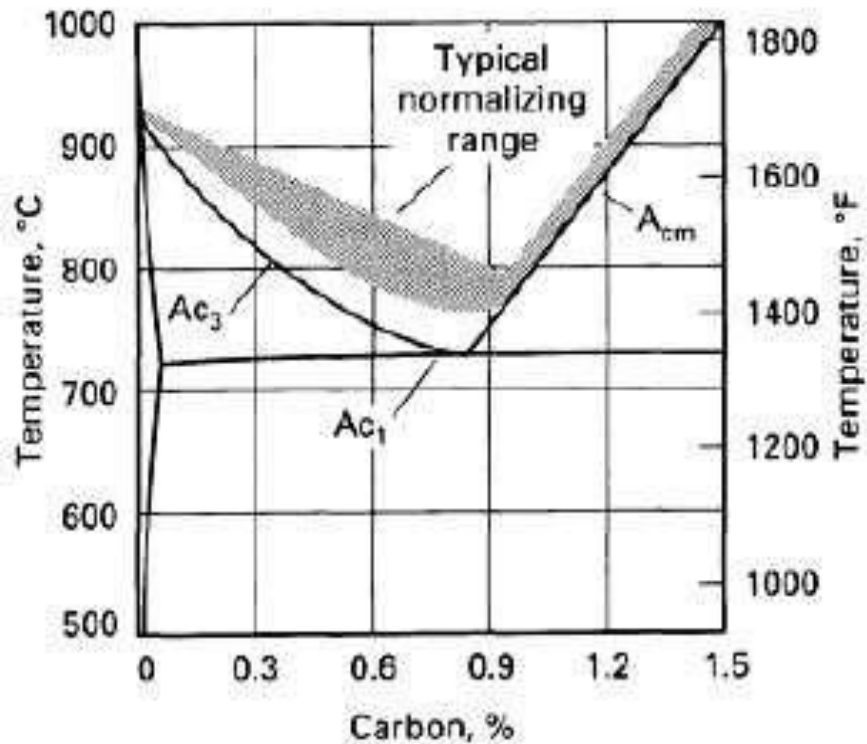
Preheat dapat dilakukan pada keseluruhan benda kerja atau hanya pada daerah di sekitar sambungan saja. Panas harus diberikan pada bidang yang cukup lebar, sehingga temperatur daerah pengelasan tidak akan turun di bawah syarat preheat minimum selama pengelasan berlangsung. AWS D1.1 merekomendasikan jarak pemanas yang digunakan setidaknya sama dengan ketebalan material yang dilas, namun tidak boleh kurang dari 3 inci (75 mm) dari salah satu sisi sambungan las pada preheating lokal. [AWS D1.1, 2015]

Definisi *preheat* menurut AWS (*American Welding Society*) adalah panas yang diberikan kepada logam yang akan dilas untuk mendapatkan dan memelihara *preheat temperature*. Sedangkan *preheat temperature* sendiri definisinya adalah suhu dari logam induk (base metal) disekitar area yang akan dilas, sebelum pengelasan itu dimulai. Pada *multipass weld* definisi *preheat temperature* adalah suhu sesaat sebelum pengelasan pada pass selanjutnya dimulai. Pada *multipass weld* disebut juga sebagai *interpass temperature* (suhu antar pass). [AWS D1.1, 2015]

Perlakuan panas dapat digunakan untuk merubah sifat pada baja secara signifikan. Perlakuan panas terdiri atas *normalizing*, *annealing*, *quenching* dan *tempering*. Dalam perlakuan panas, pengaruh dari bentuk dan ketebalan material, komposisi kimia, temperatur serta waktu tahan selama pemanasan dan pendinginan harus dipertimbangkan.

1) *Normalizing*

Normalizing adalah proses perlakuan panas yang sering dilakukan atas pertimbangan segi panas dan mikrostruktur baja. Pada pertimbangan segi panas, *normalizing* adalah suatu proses *austenizing* yang diikuti pendinginan dengan udara yang banyak atau sedikit. Khususnya, pengerjaannya adalah dilakukan pemanasan 550C di atas garis *upper critical* diagram fasa baja karbida, seperti yang ditunjukkan pada Gambar II.2, bisa dilihat diatas AC3 untuk baja hipoeutektoid dan di atas Acm untuk baja hipereutektoid. Agar dapat dikelaskan ke perlakuan *normalizing*, porsi pemanasan pada proses harus dapat memproduksi fasa austenit homogen.[ASM International Vol 4, 1991]

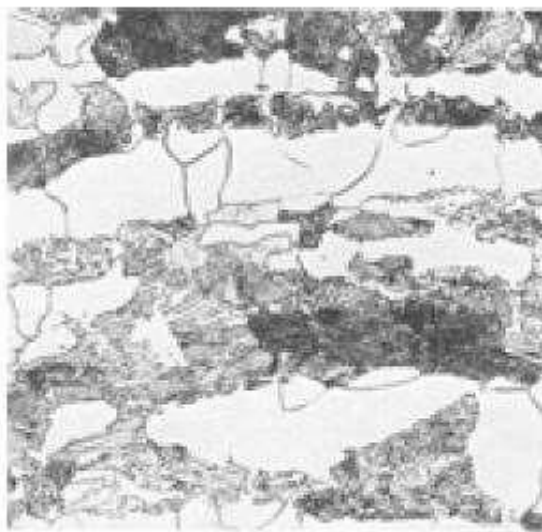


Gambar II. 2 Diagram Fasa Karbida

Sumber: ASM International Vol. 4, 1991

2) Annealing

Annealing merupakan suatu proses perlakuan panas yang dilakukan dengan pemanasan pada suhu tertentu dan menahannya, diikuti dengan pendinginan pada tingkat tertentu, dan yang utama, dapat melunakkan material metalik. Pada baja karbon, *Annealing* menghasilkan mikrostruktur yang bersifat ferlit-perlit, yang dapat dilihat pada Gambar II.6. Baja yang di-*annealing* untuk memfasilitasi pengerjaan dingin (*cold working*) maupun *machining*, untuk mengubah *mechanical properties*, atau menaikkan stabilitas dimensional. [ASM International Vol 4, 1991]



Gambar II. 3 Hasil *Annealing* pada Baja

Sumber: ASM International Vol. 4, 1991

Proses *annealing* akan menurunkan sifat mekanik seperti kuat tarik dan kekerasan, namun logam akan menjadi lunak dan ulet. Proses *annealing* yang dilakukan pada logam akan mengalami perubahan yang berurutan, yaitu: pemulihan (*recovery*), rekristalisasi (*recrystallization*), dan pertumbuhan butir (*grain growth*). Agar dapat memahami proses *annealing* lebih lanjut, dapat menggunakan diagram baja-karbon biner yang dilihat pada Gambar II.7. [ASM International Vol 4, 1991]

Suhu kritis harus dipertimbangkan terlebih dahulu jika melakukan proses *annealing* pada baja karena akan mempengaruhi transformasi baja austenit. Suhu kritis tergantung dari baja yang akan diperlakukan panas maupun dingin. Pemenuhan suhu kritis pada transformasi menjadi baja austenit selama pemanasan yang dapat ditunjukkan pada AC3 dan AC1 untuk baja hipoeutektoid dan Acm untuk baja hipereutektoid. Suhu-suhu ini lebih tinggi daripada suhu kritis pada transformasi menjadi baja austenit selama pendinginan, yang dapat ditunjukkan pada Ar3 dan Ar1 untuk baja hipoeutektoid serta Arcm dan Ar1 untuk baja hipereutektoid. (“c” dan “r” pada simbol tang tertera merupakan bahasa Perancis *chauffage* untuk pemanasan dan *refroidissement* untuk pendinginan.) suhu kritis pada baja karbon dan baja alloy dapat dilihat pada Tabel II.5 dan II.6. [ASM International Vol 4, 1991]

3) *Quenching*

Quenching adalah proses perlakuan panas yang dilakukan pada material baja dengan cara melakukan pendinginan yang cepat dari *austenitizing* khususnya dari rentang suhu 815OC sampai 870OC untuk baja. *Stainless* dan baja *high alloy* dapat dilakukan *quenching* untuk meminimalisir ukuran kristal agar menaikkan distribusi ferrit tetapi kebanyakan jenis baja yang termasuk baja karbon, *low alloy*, dan baja peralatan dilakukan proses *quenching* untuk mengontrol jumlah martensit dalam mikrostruktur, *hardness*, *strength*, *toughness*, yang diinginkan sementara dapat meminimalisir tegangan sisa, distorsi, dan kemungkinan terjadinya *crack*. [ASM International Vol 4, 1991]

Pemilihan media *quenchant* tergantung dari kemampuan pengerasan, bentuk dan ketebalan material, dan jangka pendinginan untuk mencapai mikrostruktur yang diinginkan. Kebanyakan media *quenchant* adalah dalam bentuk larutan atau gas. Media *quenchant* berupa gas dapat terdiri dari helium, argon dan nitrogen. Media *quenchant* berupa larutan yang digunakan adalah: [ASM International Vol 4, 1991]

- a. Minyak yang terdiri dari berbagai macam zat adiktif
- b. Air
- c. Larutan polimer berarir
- d. Air yang terdiri dari garam atau zat adiktif lainnya

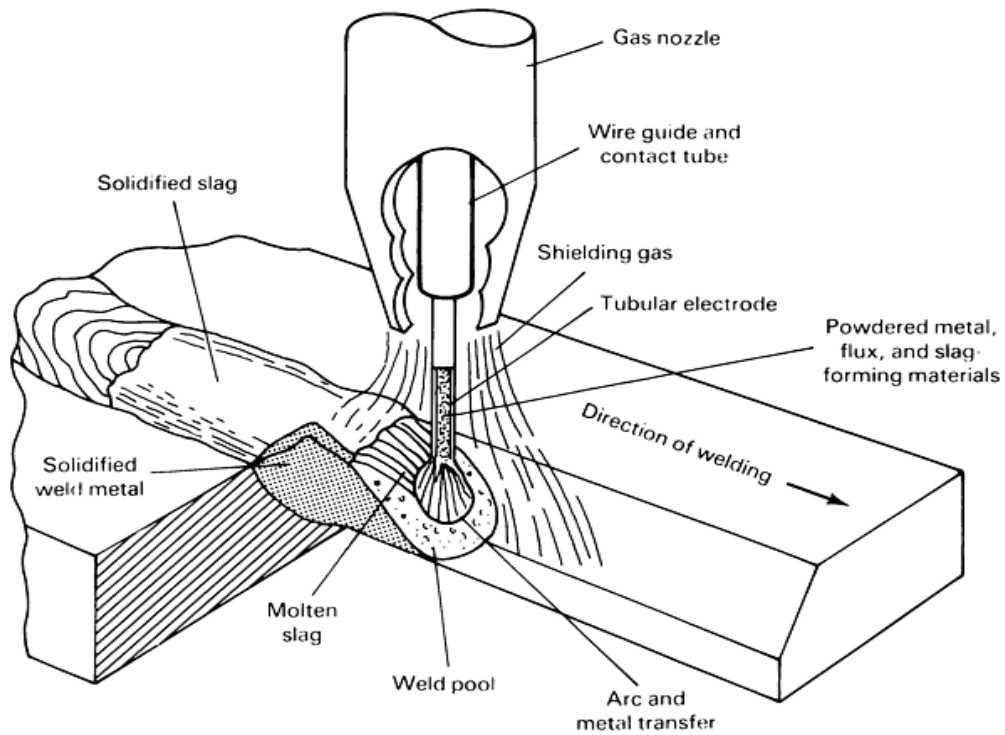
4) *Tempering*

Tempering adalah pemanasan yang dilakukan dibawah suhu *lower critical* dan didinginkan pada tingkat yang sesuai, yang mana dilakukan pada baja yang sudah dilakukan *normalizing* atau pengerasan terlebih dahulu. Tujuan dilakukannya *tempering* adalah untuk meningkatkan sifat ulet dan *toughness*, tetapi dapat juga meningkatkan ukuran butir kristal. Biasanya *tempering* dilakukan dengan *quenching* dari suhu di atas suhu *upper critical*. Selain itu, *tempering* juga digunakan untuk menghilangkan tegangan. Proses ini biasanya dilakukan dengan memanaskan kembali material ke suatu temperatur dan menahannya selama 1-2 jam, kemudian didiginkan kembali. Tingginya temperatur pemanas dan lamanya waktu penahan sangat menentukan kekerasan yang terjadi setelah dilakukan process *tempering*. [ASM International Vol 4, 1991]

II.1.4. Flux Cored Arc Welding (FCAW)

Pengelasan Flux Cored Arc Welding adalah pengelasan yang menggunakan panas dari busur listrik yang dihasilkan antara filler metal yang kontinyu dari benda kerja. Pengelasan FCAW hampir sama dengan GMAW yang membedakan adalah pada FCAW menggunakan *electrode* tubular yang didalamnya terdapat *flux* yang akan berfungsi sebagai gas pelindung sedangkan pada GMAW menggunakan *solid wire*. *Flux* yang ada di dalam *electrode* akan memberikan perlindungan pada molten weld pool terhadap udara luar, memperbaiki kekuatan karena reaksi kimia dan campuran, memperbaiki weld shape.[ASM International Vol.6, 1993]

Perlindungan menggunakan self-shielded tidak memerlukan perlindungan tambahan berupa external gas shielding, akan tetapi beberapa *electrode* pada FCAW memerlukannya. Jika external gas shielding diperlukan biasanya gas yang digunakan adalah carbon dioksida, argon, atau campuran keduanya. Campuran dari 25% argon – 75% karbon dioksida bisa digunakan untuk memperbaiki karakteristik busur las dan memperbaiki sifat mekanik dari hasil pengelasan. [ASM International Vol.6, 1993]



Gambar II. 4 Proses Deposit FCAW

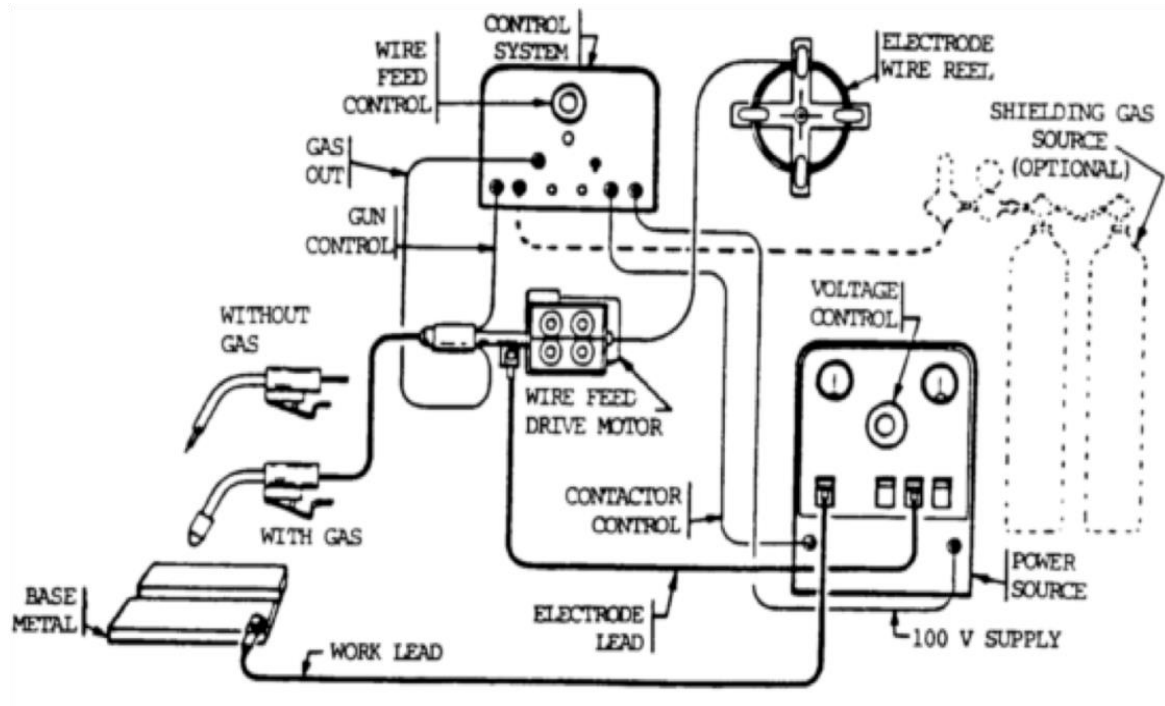
Sumber: ASM Handbook Vol.6

Keunggulan pengelasan FCAW

- Proses pengelasan lebih cepat dibandingkan dengan SMAW, karena pada FCAW tidak perlu sering mengganti kawat las karena sudah dalam bentuk wire roll yang panjang.
- FCAW merupakan jenis mesin las yang otomatis dan semiotomatis sehingga lebih mudah digunakan.
- FCAW memiliki perlindungan :
 - a. *Self shielding* FCAW (perlindungan sendiri), yaitu merupakan proses melindungi logam las yang mencair dengan menggunakan asap dari hasil penguapan atau reaksi dari inti fluks.
 - b. *Dual shielding* FCAW (perlindungan ganda) yaitu perlindungan logam las yang mencair dengan menggunakan *flux* dan asap.

Kekurangan pengelasan FCAW

- Dikarenakan menggunakan flux sebagai pelindung maka diperlukan proses pembersihan setelah proses pengelasan selesai.
- Terkadang akan muncul cacat porosity atau lubang-lubang kecil jika terkena hembusan angin yang mencapai 5 mph.
- Dari segi harga memang mesin las FCAW cukup mahal untuk melakukan pengelasan bagi usaha kecil menengah



Gambar II. 5 Pengaturan Mesin Las FCAW

Sumber: ASM Handbook Vol.6

Pada gambar II.2 menggambarkan tentang pengaturan dari alat FCAW. Peralatan FCAW terdiri atas wire feeder yang berfungsi untuk menarik kawat las dan mengeluarkannya melalui welding gun. Pada proses ini kawat las dapat dikeluarkan secara terus menerus sampai proses pengelasan selesai. Work lead berfungsi untuk menghubungkan kabel masa dari mesin ke benda kerja. Welding gun berfungsi untuk melakukan proses pengelasan yang merupakan tempat keluarnya kawat las dan gas pelindung. Ampere dan Volt kontrol berfungsi untuk mengontrol besar kecilnya ampere dan voltase. Biasanya pengontrol ini terdapat pada mesin las atau wire feeder. Tabung gas berfungsi untuk menyimpan gas pelindung yang digunakan sebagai gas pelindung saat proses pengelasan berlangsung. [ASM International Vol.6, 1993]

Klasifikasi elektroda FCAW

E 7 0 T – 1

Pengertian :

E = Simbol elektroda atau kawat las

7 = Kekuatan tarik minimum dari kawat las tersebut (x10.000 psi)

0 = Posisi pengelasan yang berarti untuk posisi flat dan horizontal, namun jika diganti 1 maka dapat digunakan untuk semua posisi

1 = Tipe gas dan performa dari kawat las

II.1.5. Sifat Mekanik

Sifat mekanik adalah salah satu sifat terpenting karena sifat mekanik menyatakan kemampuan suatu bahan untuk menerima beban/gaya sampai menimbulkan kerusakan pada bahan tersebut. Beberapa sifat mekanik yang penting adalah: [AWS Part A Chapter 6, 2008]

- Kekuatan (*strength*) menyatakan kemampuan bahan untuk menerima tegangan tanpa menyebabkan patah. Ada banyak jenis kekuatan, masing-masing tergantung pada bagaimana beban diterapkan pada material seperti kekuatan tarik, kekuatan geser, kekuatan torsional, kekuatan impak dan kekuatan kelelahan.
- Kekerasan (*hardness*) menyatakan kemampuan bahan untuk tahan terhadap penggoresan, pengikisan, indentensi atau penetrasi. Kekerasan logam juga memungkinkan pendekatan pada kekuatan tariknya.
- Ketangguhan (*toughness*) menyatakan kemampuan untuk menyerap sejumlah energi tanpa mengakibatkan kerusakan. Selain itu juga dapat dikatakan sebagai ukuran banyaknya energi yang diperlukan untuk mematahkan suatu benda kerja pada suatu kondisi tertentu.
- Kelelahan (*fatigue*) merupakan kecenderungan dari logam untuk patah bila menerima tegangan berulang-ulang yang besarnya masih jauh dibawah kekuatan elastisnya. Kelelahan logam disebabkan oleh tindakan mekanik siklik atau berulang pada daerah yang sama. Beban berganti-ganti secara bergantian antara tegangan yang tinggi dan beberapa tekanan yang lebih rendah atau sebaliknya. Tindakan ini dapat terjadi dengan cepat ataupun secara perlahan yang berkelanjutan.
- Kekenyalan (*ductility*) merupakan kemampuan bahan untuk menerima tegangan tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk yang permanen setelah tegangan dihilangkan. Kekenyalan juga menyatakan seberapa banyak perubahan bentuk elastis yang dapat terjadi sebelum perubahan bentuk yang permanen mulai terjadi. Dengan kata lain kekenyalan menyatakan kemampuan bahan untuk kembali ke bentuk dan ukuran semula setelah menerima beban yang menimbulkan deformasi.

II.1.6. Pengujian Tarik

Pengujian tarik adalah salah satu metode pengujian material yang paling luas penggunaannya. Pada pengujian tarik spesimen uji mengalami pembebanan satu sumbu (*uniaxial loading*) yang menyebabkan terjadinya deformasi baik elastis maupun plastis. Dari pengujian ini dapat dipelajari perilaku dari material sebagai respon terhadap beban yang diberikan. Pengujian tarik bertujuan untuk mengetahui sifat-sifat mekanik dan perubahan-

perubahannya dari suatu logam terhadap gaya tarik yang diberikan. Pengujian ini paling sering dilakukan karena merupakan dasar pengujian-pengujian dan studi mengenai kekuatan bahan. Hasil yang diperoleh dari proses pengujian tarik adalah kurva tegangan, regangan, parameter kekuatan, dan perpanjangan. [Japan Welding Engineering Society,2006]

“*Ultimate Tensile Strength*” dalam bahasa Indonesia disebut tegangan tarik maksimum. Perubahan panjang dalam kurva disebut sebagai regangan (ϵ), yang didefinisikan sebagai perubahan panjang yang terjadi akibat perubahan statik (ΔL) terhadap panjang batang mula-mula (L_0). Tegangan yang dihasilkan pada proses ini disebut dengan tegangan (σ), dimana didefinisikan sebagai nilai pembebanan yang terjadi (F) pada suatu luas penampang awal (A_0). Tegangan normal tersebut akibat beban tarik statik dapat ditentukan berdasarkan persamaan :

$$\sigma = \frac{F}{A_0}$$

Dimana:

σ = Tegangan normal akibat beban tarik (N/mm²)

F = Beban tarik (N)

A_0 = Luas penampang spesimen mula-mula (mm²)

Regangan akibat beban tarik statik dapat ditentukan berdasarkan persamaan :

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

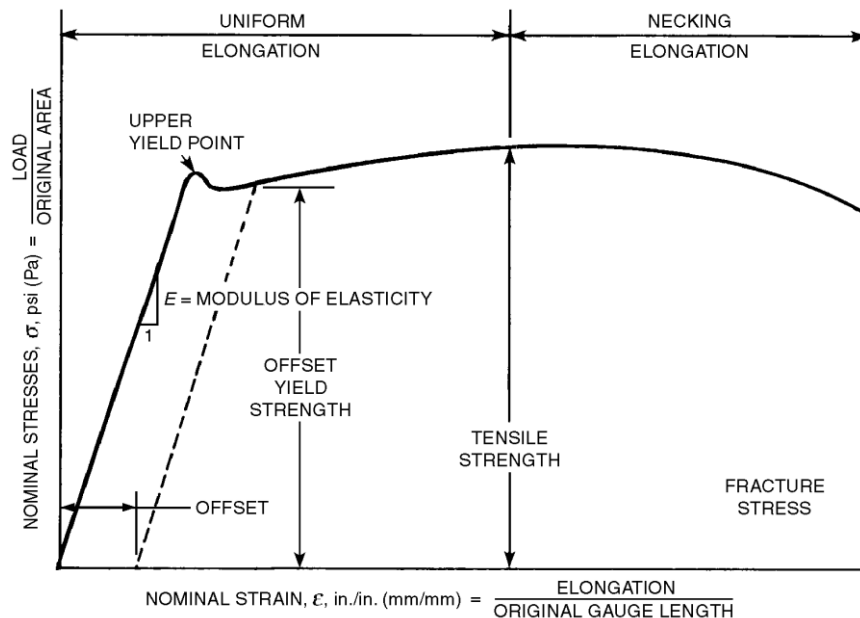
Dimana: $L - L_0 = \Delta L$

Keterangan:

ϵ = Regangan akibat beban tarik

L = Perubahan panjang spesimen akibat beban tarik (mm)

L_0 = Panjang spesimen mula-mula (mm)



Gambar II. 6 Diagram Regangan-Tegangan

Sumber: AWS 9th edition Vol. 1

Pada pengujian tarik, akan didapatkan hasil pengujian berupa data, di antaranya adalah tegangan tarik maksimum (*ultimate tensile strength*), tegangan luluh (*yield strength*), regangan (*elongation*), pengurangan luas penampang (*reduction of area*), lokasi dan mode kepecahan, dan diagram tegangan-regangan (*stress-strain diagram*). Pada gambar untuk daerah linier tidak terjadi initial stress maupun regangan oleh karena itu pada daerah tersebut juga disebut daerah elastis sampai batas titik luluh atau yield point. Pada puncak kurva merupakan ultimate tensile strength dimana kekuatan material akan meningkat sampai maksimal pada puncaknya dan membutuhkan tegangan untuk mencapai titik putus atau fracture point. [Japan Welding Engineering Society,2006]

II.1.7. Pengujian Kekerasan

Kekerasan merupakan istilah yang digunakan dalam dunia industri, yang dapat diartikan sebagai kemampuan sebuah material untuk menahan indentasi permanen atau deformasi ketika kontak dengan beban indenter. Secara umum dapat diartikan sebagai penekanan sebuah indenter yang mempunyai geometri dan sifat mekanik pada sebuah bahan uji material. Sebuah indenter dapat berbentuk bola (*spherical, brinell test*), berbentuk segilima (*pyramidal, vickers test atau knoop test*), atau berbentuk kerucut (*rockwell test*). [AWS 9th edition Vol. 1, 2001]

Penentuan kekerasan dari sebuah metal itu mudah dilakukan, karena pada umumnya banyak variasi metode yang dapat digunakan. Ada tiga dasar metode penentuan kekerasan metal yaitu *brinell*, *rockwell*, *vickers* dan *microhardness*. *Microhardness* sendiri dibagi dua yaitu *vickers* dan *knoop*.

Pengujian kekerasan dengan metode *Brinell* bertujuan untuk menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap bola baja (*indentor*) yang ditekan pada permukaan material uji tersebut (*speciment*). Idealnya pengujian *Brinell* diperuntukan bagi material yang memiliki kekerasan *Brinell* sampai 400 HB. Angka Kekerasan *Brinell* (HB) didefinisikan sebagai hasil bagi (Koefisien) dari beban uji (F) dalam *Newton* yang dikalikan dengan angka faktor 0,102 dan luas permukaan bekas luka tekan (injakan) bola baja (A) dalam milimeter persegi. [AWS 9th edition Vol. 1, 2001]

Metode *rockwell* ini meliputi beberapa variasi prinsip dasar tetapi menggunakan beberapa diameter indentor yang berbeda. Indentor yang digunakan pada metode ini adalah berlian Brale dan 1/16, 1/8, 1/4, dan 1/2 in. diameter bola baja. Indentasi yang dihasilkan oleh metode *rockwell* lebih kecil jika dibandingkan dengan metode *brinell*, hal tersebut memungkinkan untuk pengetesan pada material yang lebih sempit. Menggunakan macam-macam indentor tadi, berbagai macam beban bisa di aplikasikan hampir disemua material. Beban yang diberikan memang lebih kecil dibandingkan dengan metode *brinell* yaitu hanya di antara rentang 60 – 150 kg. [AWS 9th edition Vol. 1, 2001]

Pengujian kekerasan dengan metode *Vickers* bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap intan berbentuk piramida dengan sudut puncak 136 Derajat yang ditekan pada permukaan material uji tersebut. Angka kekerasan *Vickers* (HV) didefinisikan sebagai hasil bagi (koefisien) dari beban uji (F) dalam *Newton* yang dikalikan dengan angka faktor 0,102 dan luas permukaan bekas luka tekan (injakan) bola baja (A) dalam milimeter persegi. [AWS 9th edition Vol. 1, 2001]

Metode yang terakhir adalah metode *microhardness*, alasan dinamakan *microhardness* karena hasil dari pengujian ini perlu adanya pembesaran melalui *microscope*. Pada pengujian ini indentornya menggunakan intan kasar yang dibentuk menjadi piramida. Bentuk lekukan intan tersebut adalah perbandingan diagonal panjang dan pendek dengan skala 7:1. Pengujian ini untuk menguji suatu material adalah dengan menggunakan beban statis. Bentuk indentor yang khusus berupa knoop memberikan kemungkinan membuat kekuatan yang lebih rapat dibandingkan dengan lekukan *Vickers*. Hal ini sangat berguna khususnya bila mengukur kekerasan lapisan tipis atau mengukur kekerasan bahan getas dimana kecenderungan menjadi patah sebanding dengan volume bahan yang ditegangkan. [AWS 9th edition Vol. 1, 2001]

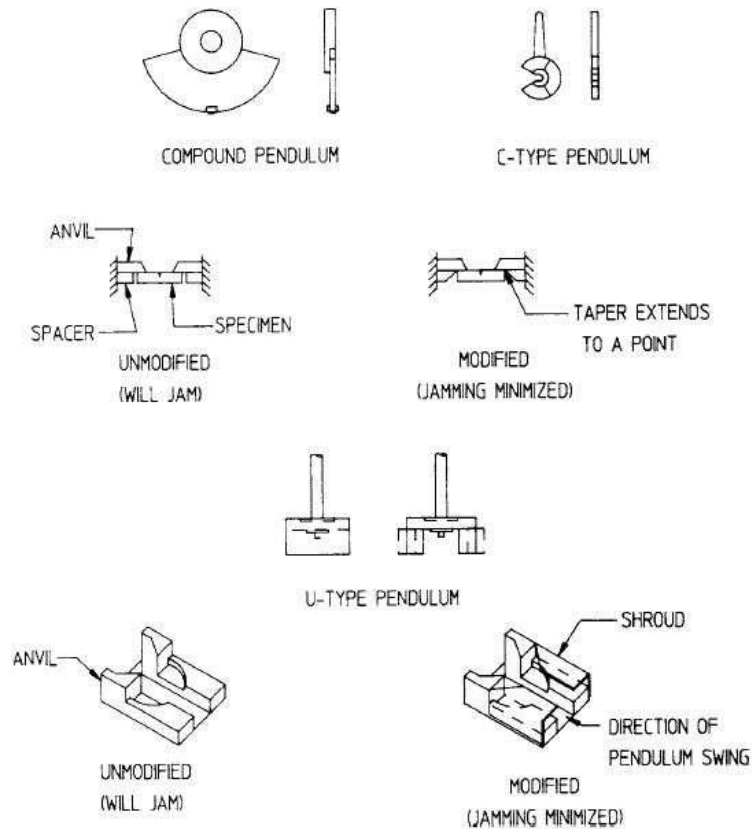
II.1.8. Pengujian Metalografi

Pengujian metalografi adalah suatu teknik atau ilmu untuk melihat struktur mikro dan makro material. Pengujian metalografi pada dasarnya terdiri dari pengujian makro dan pengujian mikro. Pengujian mikro bertujuan untuk mengetahui kondisi struktur mikro penyusun logam akibat proses pengelasan, pemanasan, dan pendinginan. Struktur mikro berupa butiran-butiran yang dipisahkan oleh batas butir (*grain boundary*). Tahapan untuk melakukan pengujian mikro adalah: [ASM International Vol.9, 1993]

- *Cutting* merupakan pemotongan benda uji disesuaikan dengan penampang yang akan diamati.
- *Mounting* (pembingkaian) merupakan untuk memudahkan pemegangan terhadap benda uji yang berukuran kecil atau memiliki bentuk yang tidak beraturan.
- *Grinding* merupakan proses meratakan permukaan benda uji dengan menggunakan kertas amplas anti air. Selama *grinding* diberi air untuk mencegah terjadinya oksidasi pada permukaan benda uji.
- *Polishing* merupakan menghaluskan serta menghilangkan goresan-goresan selama proses *grinding* dengan menggunakan kain bludru (*polishing cloth*). Sebagai media pendingin digunakan alkohol.
- *Etching* merupakan proses mereaksikan benda uji dengan bahan etsa sehingga dapat memunculkan gambar struktur mikro dengan jelas.
- *Viewing* merupakan pengamatan yang dilakukan dengan mikroskop optik atau mikroskop elektron.

II.1.9. Pengujian Impact

Pengujian Impact (*impact testing*) digunakan untuk mengetahui kegetasan atau keuletan suatu bahan uji yang akan diuji dengan cara pembebanan secara tiba-tiba terhadap benda yang akan diuji secara statik. Prinsip awal pengujian ini adalah karena terjadinya mode kepecahan *brittle* pada saat suhu rendah, tegangan yang terjadi sangat tinggi dan *triaxial state of stress*. Untuk melakukan pengujian terhadap hal itu dapat menggunakan *fatigue test* tetapi waktu yang dibutuhkan lebih lama dan biaya yang mahal. Oleh karena itu uji *impact* dilakukan karena waktu serta biaya yang murah. [ASME Sect.III, 2017]



Gambar II. 7 Typical Pendulums and Anvils for Charpy Machines

Sumber: ASTM E 23, 2007

Pengujian *impact* menggunakan metode charpy, macam-macam pendulum dari metode charpy dapat dilihat pada Gambar II.10. *Charpy Impact Test*, juga dikenal sebagai tes *V-notch Charpy*, adalah standar pengujian yang menentukan jumlah energi yang diserap oleh material selama fraktur. Energi yang diserap adalah ukuran ketangguhan takik bahan tertentu dan bertindak sebagai kondisi untuk mengamati energi yang diserap pada suhu transisi. Hal ini banyak digunakan pada industri, karena mudah untuk dilakukan dan hasilnya dapat diperoleh dengan cepat dan murah. Pada metode ini bahan uji diletakkan mendatar dan kedua ujung bahan uji ditumpu pada suatu landasan. Letak takikan (*notch*) tepat ditengah dengan arah pemukulan dari belakang takikan. Ukuran *charpy* yang standard dalam pengujian dilihat pada Gambar II.11. Biasanya metode *charpy* ini digunakan di Amerika dan banyak negara yang lain termasuk Indonesia. ada juga pengujian dengan menggunakan Metode izod. Pada metode ini bahan uji dijepit pada salah satu ujungnya dan diletakkan tegak. Arah pemukulan dari depan takikan. [ASTM E 23, 2007]

II.1.10. *Hall Petch Equation*

Penguatan batas butir (atau penguatan Hall-Petch) adalah metode memperkuat material dengan mengubah ukuran kristal (butir) rata-rata. Hal ini didasarkan pada pengamatan bahwa batas butir menghambat gerakan dislokasi dan bahwa jumlah dislokasi dalam sebutir memiliki efek pada seberapa mudah dislokasi dapat melintasi batas butir dan bergerak dari biji ke biji-bijian. Jadi, dengan mengubah ukuran butir satu dapat mempengaruhi gerakan dislokasi dan menghasilkan kekuatan. Misalnya, perlakuan panas setelah deformasi plastik dan mengubah laju pemadatan adalah cara untuk mengubah ukuran butir.

Hubungan antara tegangan luluh dan ukuran butir dijelaskan secara matematis oleh persamaan Hall-Petch:

$$\sigma_y = \sigma_i + \frac{k_y}{\sqrt{D}}$$

Dimana:

σ_y = Tegangan luluh (N/mm²)

σ_i = Tegangan awal untuk konstanta bahan (N/mm²)

k_y = Koefisien penguatan

D = Rata-rata diameter butir

Penting untuk dicatat bahwa hubungan *Hall Petch* adalah rumus empiris untuk data eksperimental, dan bahwa gagasan bahwa panjang pileup setengah diameter butir menyebabkan tegangan kritis untuk transmisi ke atau generasi dalam butir yang berdekatan belum diverifikasi oleh pengamatan yang sebenarnya dalam struktur mikro.

Secara teoritis, bahan bisa dibuat jauh lebih kuat jika butiran dibuat jauh lebih kecil. Akan tetapi hal tersebut seakan tidak mungkin terjadi, karena batas bawah ukuran butir adalah satu sel satuan material. Bahkan kemudian, jika butiran material adalah ukuran sel satuan tunggal, maka materi tersebut sebenarnya amorf, bukan kristal, karena tidak ada urutan jarak jauh, dan dislokasi tidak dapat didefinisikan dalam bahan amorf. Telah diamati secara eksperimental bahwa struktur mikro dengan kekuatan luluh tertinggi adalah ukuran butiran sekitar 10 nm ($3,9 \times 10^{-7}$ in), semakin kecil ukuran butir, semakin kecil tekanan tolakan yang dirasakan oleh dislokasi batas butir dan semakin tinggi tegangan yang diperlukan untuk menyebarkan dislokasi melalui material.

II.2. Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka diperlukan sebagai acuan dari pengalaman yang telah dikerjakan oleh peneliti sebelumnya guna mempermudah dalam menyelesaikan penelitian yang sedang dikerjakan oleh peneliti sekarang. Selain itu, studi literatur ini bertujuan untuk mendapatkan informasi atau data yang berlaku sesuai dengan bidang pada penelitian. Literatur yang berkaitan dan menjadi acuan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah :

1. Menurut [Chotěborský R., Hrabě P., Kabutey A., 2011] yang melakukan penelitian dengan judul *“Perubahan Sifat Mekanik dalam Substrat selama Deposit Pengelasan Ulang”*, bahwa penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh deposit pengelasan ulang dari struktural baja karbon rendah dan juga perubahan yang terjadi pada daerah HAZ dan zona subkritis selama pengelasan ulang. Dengan pengujian metalografi optik, metode *microhardness vickers* dan pengujian *impact charpy* untuk menganalisa perbedaan tersebut. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan menunjukkan bahwa deposit pengelasan ulang meningkat pada daerah HAZ dan juga berpengaruh pada ketangguhan *impact* dan kekerasan mikro dari substrat tersebut. Selain itu, ditemukan bahwa pengelasan ulang meningkatkan ukuran butir pada daerah HAZ. Pengaruh ini menghasilkan peningkatan kekerasan *impact* pada daerah HAZ.
2. Menurut [Prasetyo, Arif. 2014] yang melakukan penelitian dengan judul *“Analisa Pengaruh Preheating terhadap Duktilitas Material Baja Karbon High Tensile AH36 pada Pondasi Mesin di Kapal”*, bahwa dengan variasi suhu *preheating* berpengaruh terhadap nilai kuat tarik sambungan las, nilai energi *absorb* pada *weld metal* dan nilai *fracture Toughness* (K_{Ic}). Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa pengelasan terbaik dilakukan dengan suhu *preheating* 150°C karena pada suhu *preheating* tersebut mempunyai nilai energi *absorb* yang cukup tinggi, tetapi tidak mengalami penurunan nilai kekuatan tarik sambungan las yang terlalu besar.
3. Menurut [Irvansyah, Savero. 2014] yang melakukan penelitian dengan judul *“Analisa Pengaruh Aplikasi Preheat dan Post Weld Heat Treatment (PWHT) pada Pengelasan Baja Karbon A36 menggunakan Backing Material dengan Metode FCAW terhadap Sifat Mekanik dan Metalurgi”*, dengan variasi kombinasi *preheat* 300°C dan PWHT 600°C pada baja karbon A36 dengan tebal 13.7 mm menggunakan pengelasan FCAW memakai *backing ceramic* bahwa berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan menghasilkan semakin tinggi nilai *yield strength* dan *tensile strength*, semakin tinggi

pula nilai kekerasan pada material. Namun, energi *absorb* dan *fracture toughness* pada material semakin berkurang.

4. Menurut [Wibowo, Prasetyo. 2015] yang melakukan penelitian dengan judul “*Analisis Pengaruh Preheat atau Pemanasan Awal terhadap Hasil Pengelasan Ulang Alumunium 5083 ditinjau dari Sifat Mekanik dan Metalurgi pada Lambung Kapal*”, dalam penelitian ini dilakukan pengelasan ulang sebanyak 3 kali dengan perlakuan *preheat* dengan suhu 80°C dan suhu *interpass* sebesar 150°C menggunakan proses las GMAW bahwa berdasarkan hasil pengujian tarik yang dilakukan nilai *ultimate tensile strength* mengalami penurunan pada setiap dilakukan pengelasan ulang dan *preheat* berpengaruh pada *yield strength* sehingga nilainya lebih stabil setiap dilakukan pengelasan ulang. Hasil dari pengujian mikro bahwa semakin sering dilakukan pengelasan ulang maka komposisi partikel Mg_2Si akan terus meningkat dan partikel Mg_2Al_3 mengalami penurunan pada daerah *weld metal*. Hasil pengujian kekerasan diperoleh nilai kekerasan tertinggi pada *base metal* dan kekerasan terendah pada *weld metal*. *Preheat* maupun pengelasan ulang menyebabkan nilai kekerasan material menurun, tetapi tidak terlalu signifikan.
5. Menurut [Wienpy, Pradesta. 2017] yang melakukan penelitian dengan judul “*Analisa Pengaruh Post Weld Heat Treatment terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro pada Pengelasan Ulang Baja Karbon A36 pada Pondasi Mesin Kapal*”, dalam penelitian ini dilakukan pengelasan ulang sebanyak 3 kali dengan perlakuan *Post Weld Heat Treatment* (PWHT) dengan suhu sebesar 595°C. Proses pengelasan menggunakan SMAW dengan ketebalan material 16 mm. Bahwa berdasarkan hasil pengujian tarik yang dilakukan nilai *ultimate tensile strength* dan *yield strength* setiap dilakukan pengelasan ulang mengalami penurunan, dimana proses PWHT berpengaruh terhadap penurunan nilai cenderung lebih stabil. Nilai kekerasan juga mengalami penurunan yang tidak terlalu signifikan akibat pengaruh PWHT. Nilai energi *absorb* mengalami kenaikan dikarenakan pengaruh PWHT membuat material menjadi ulet. Butiran *pearlite* dan *ferrite* terbentuk semakin kecil dan rapat akibat pengaruh pengelasan ulang dan PWHT, dimana semakin kecil butir akan semakin besar angka dari kekerasan sebuah material.

BAB III METODOLOGI

III.1. Bahan dan Peralatan

III.1.1. Bahan Penelitian

Material yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah baja karbon rendah A36 dengan ukuran 400 x 150 x 16 mm sejumlah 4 buah dan 400 x 150 x 14 mm sejumlah 4 buah dapat dilihat pada Gambar III.1



Gambar III. 1 Material Baja A36

III.1.2. Peralatan Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan peralatan yang memiliki fungsi masing-masing sesuai dengan kegunaannya mulai pada tahap persiapan material, proses pengelasan, pembuatan spesimen uji dan proses pengujian.

III.1.2.1. Peralatan Persiapan Material

1. *Grooving Machine*
2. Mesin gerinda
3. Penggaris

III.1.2.2. Peralatan Proses Pengelasan

1. Mesin Las FCAW
2. Kawat Las E71-T1
3. Gas CO_2

4. *Oxygen Acetylene Gas*
5. *Torch*
6. *Infrared Thermometer*
7. *Welding Helmet*
8. *Welding Glove*
9. Sikat
10. *Stopper*
11. *Steel Marker*
12. Gerinda

III.1.2.3. Peralatan Pembuatan Spesimen Uji

1. Gergaji
2. Mesin *Scrub*
3. Mesin Poles
4. Ragum
5. Kertas Gosok
6. Larutan Etsa
7. Jangka Sorong
8. Kikir

III.1.2.4. Peralatan Proses Pengujian

1. *Universal Testing Machine*
2. Mesin Pengujian Impact
3. *Optical Microscope*
4. Mesin Pengujian *Hardness Vickers*

III.2. Proses Pengelasan

Proses pengelasan yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah proses pengelasan *Flux Cored Arc Welding* (FCAW). Pada proses pengelasan menggunakan gas CO_2 dengan *filler metal* E71T-1. Parameter yang digunakan dalam proses pengelasan ini dapat dilihat pada Tabel III.1

Tabel III. 1 Parameter Pengelasan *Flux Cored Arc Welding* (FCAW)

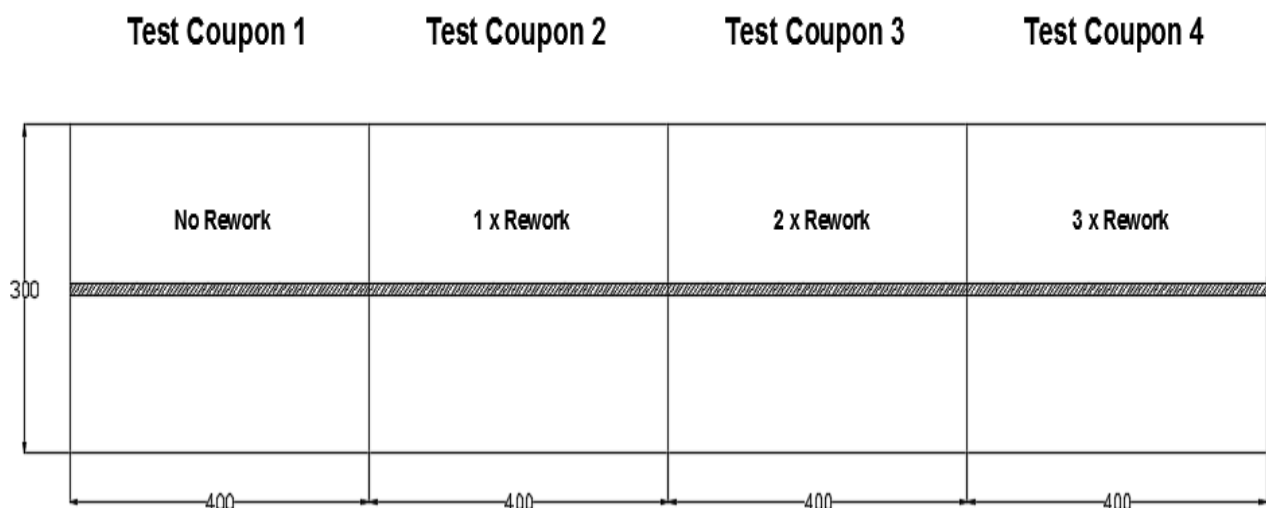
<i>Joints</i>	
1. <i>Joints Design</i>	<i>Butt Joint</i>
2. <i>Type</i>	<i>Single V</i>
3. <i>Backing</i>	NA
4. <i>Root Opening</i>	1 – 2 [mm]
5. <i>Root Face Dimension</i>	1 – 2 [mm]
6. <i>Groove Angle</i>	60°
7. <i>Gouging</i>	NA
8. <i>Back Weld</i>	<i>Yes</i>
<i>Base Metal</i>	
9. <i>Plate Thickness</i>	14 and 16 [mm]
10. <i>Type Grade</i>	A36
11. <i>Plate Thickness Range</i>	5 – 28 & 5 – 32 [mm]
12. <i>Preheat Temperature</i>	200° [C] ± 55°C
13. <i>Interpass Temperature</i>	200° [C] ± 50°C
14. <i>PWHT</i>	NA
<i>Position</i>	
15. <i>Position</i>	1G
<i>Filler Metal</i>	
16. <i>AWS Classification</i>	E 71T-1
<i>Electrical Characteristics</i>	
17. <i>Type of Polarity</i>	DCEN
18. <i>Ampere Range</i>	150 – 300 [A]
19. <i>Voltage Range</i>	22 – 32 [V]
20. <i>Travel Speed Range</i>	90 – 150 [mm/min]
<i>Shielding</i>	
21. <i>Gas</i>	<i>CO₂</i>
22. <i>Composition</i>	75%
23. <i>Flux</i>	NA
24. <i>Electrode-Flux (Class)</i>	NA
25. <i>Flow Rate</i>	10 – 25 [mm]

III.2.1 Pelaksanaan Pengelasan

Berdasarkan parameter pengelasan yang telah ditetapkan, selanjutnya sebelum dilakukan proses pengelasan terdapat beberapa tahapan yang harus dilakukan. Tahapan sebelum dilakukan pengelasan tersebut adalah sebagai berikut :

III.2.1.1. Tahap Persiapan

- Penyiapan material (*test coupon*) dengan ukuran 400 x 150 x 16 mm sejumlah 4 buah dan 400 x 150 x 14 mm sejumlah 4 buah yang telah dilakukan bevel pada alur lasnya dan dibagi setiap pengelasan ulang. Dapat ditunjukkan pada Gambar III.2
- Pemeriksaan kelurusan material, *root opening*, *root face dimension* sesuai dengan parameter pengelasan dan dilakukan pemasangan *stopper* yang bertujuan agar material pada saat dilakukan pengelasan tidak mengalami deformasi atau *bending*. Ditunjukkan pada Gambar III.3
- Persiapan mesin las FCAW dan kawat las E 71T-1, dengan tipe polaritas DCEN, ampere sebesar 150-300[A] dan voltase sebesar 22-32 [V] sesuai dengan parameter yang telah ditentukan
- Menyiapkan *oxygen acetylene gas* dan *torch* untuk aplikasi *preheat* dengan metode *flame heating*



Gambar III. 2 Pembagian Test Coupon Setiap Pengelasan Ulang



Gambar III. 3 Pemasangan *Stopper*

III.2.1.2. Tahap Pengelasan

Setelah tahapan persiapan selesai dilakukan, maka selanjutnya dilakukan tahap pengelasan. Pada Gambar III.4 merupakan salah satu contoh proses pengelasan *Flux Cored Arc Welding* (FCAW). Dalam proses pengelasan terdapat tahapan sebagai berikut:

- a. Pada *test coupon* 1 tidak dilakukan pengelasan ulang sehingga langsung dilakukan pengelasan empat layer dan *backweld*. Proses pengelasan setiap layer memperhatikan suhu pada material. Apabila pengukuran suhu pada material sebelum dilakukan pengelasan menunjukkan suhu kurang dari 145°C maka akan dilakukan proses pemanasan awal (*preheat*) hingga mencapai suhu diatas 145°C dan apabila pengukuran suhu menunjukkan suhu diatas 255°C maka akan didiamkan sejenak hingga suhu berada dibawah 255°C .
- b. Pada *test coupon* 2 dilakukan pengelasan ulang sebanyak satu kali. Proses pengelasan setiap layer memperhatikan suhu pada material sebesar $200^{\circ}\text{C} \pm 55^{\circ}\text{C}$. Setelah pengelasan dilakukan dan terbentuk empat layer, bagian atas layer dihilangkan dengan cara *gouging* menggunakan gerinda dengan kedalaman 10 mm. Kemudian dilakukan pengelasan ulang sebanyak satu kali untuk menutupi layer bagian atas dan terakhir dilakukan *backweld*.
- c. Pada *test coupon* 3 dilakukan pengelasan ulang sebanyak dua kali. Proses pengelasan setiap layer memperhatikan suhu pada material sebesar $200^{\circ}\text{C} \pm 55^{\circ}\text{C}$. Setelah pengelasan dilakukan dan terbentuk empat layer, bagian atas layer dihilangkan dengan cara *gouging* menggunakan gerinda dengan kedalaman 10 mm untuk pengelasan ulang yang pertama

dan kedalaman 6 mm untuk pengelasan ulang yang kedua. Kemudian dilakukan pengelasan ulang sebanyak dua kali dengan cara yang sama untuk menutupi layer bagian atas dan terakhir dilakukan *backweld*.

- d. Pada *test coupon* 4 dilakukan pengelasan ulang sebanyak tiga kali. Proses pengelasan setiap layer memperhatikan suhu pada material sebesar $200^{\circ}\text{C} \pm 55^{\circ}\text{C}$. Setelah pengelasan dilakukan dan terbentuk empat layer, bagian atas layer dihilangkan dengan cara *gouging* menggunakan gerinda dengan kedalaman 10 mm untuk pengelasan ulang yang pertama, 6 mm untuk pengelasan ulang yang kedua dan 4 mm untuk pengelasan ulang yang ketiga.. Kemudian dilakukan pengelasan ulang tiga kali dengan cara yang sama untuk menutupi layer bagian atas dan terakhir dilakukan *backweld*.



Gambar III. 4 Proses Pengelasan *Test Coupon* 1

III.2.2 Aplikasi *Preheat* atau Pemanasan Awal

Pemanasan awal atau *preheat* pada material dilakukan sebelum proses pengelasan. Seluruh pengelasan ulang pada material diawali dengan pemanasan awal. Suhu yang digunakan pada pemanasan awal atau *preheat* sebesar $200^{\circ}\text{C} \pm 55^{\circ}\text{C}$. Metode yang digunakan pada pemanasan awal adalah metode *flame heating* menggunakan *oxyacetylene gas welding*.

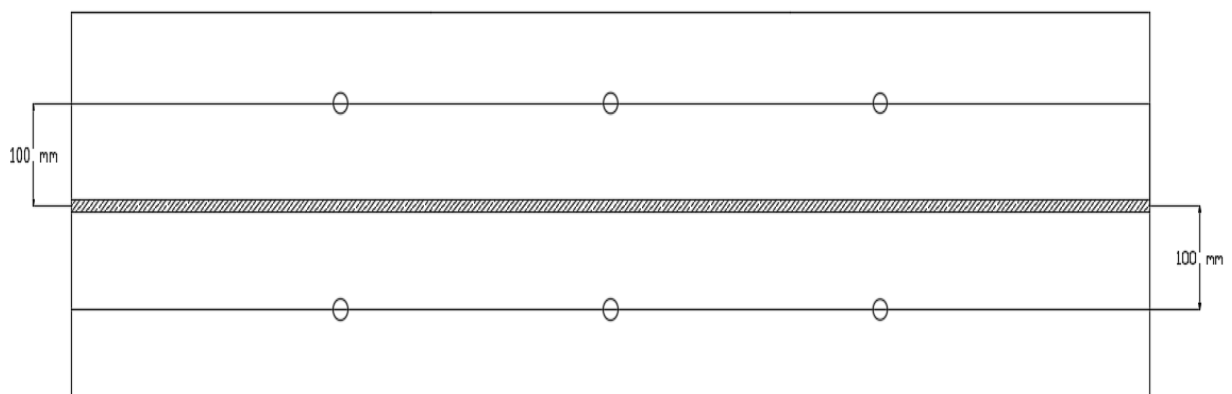
Metode *flame heating* merupakan metode pemanasan awal dengan cara menahan *torch* dengan jarak tertentu agar sumber panas tidak terlalu dekat dengan material sehingga temperatur suhu dapat terjaga. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu pemanasan awal sekitar 30-45 menit. Waktu yang dibutuhkan pada setiap pemanasan awal (*preheat*) akan berbeda-beda tergantung pada jenis material dan tebal material.

Proses *monitoring* suhu dilakukan agar suhu tetap terjaga dan masih dalam toleransi $\pm 55^{\circ}\text{C}$. Apabila material pada saat sebelum dilakukan pengelasan menunjukkan suhu dibawah 145°C maka diperlukan pemanasan awal (*preheat*) hingga suhu mencapai diatas 145°C . Dan apabila suhu setelah dilakukan pengelasan melebihi 255°C maka dapat didiamkan sejenak hingga suhu berada dibawah 255°C . Selanjutnya dapat dilakukan proses pengelasan layer berikutnya. Selama dilakukan pemanasan awal, suhu permukaan material dapat diukur dengan menggunakan alat *infrared thermometer*.

Penggunaan suhu pemanasan awal tersebut didasarkan pada [ASME Sectoin IX tahun 2017] terdapat pada Tabel QW-255 yang menyebutkan bahwa untuk suhu pemanasan awal harus dicantumkan pada WPS (*Welding Procedure Specification*) untuk pengelasan FCAW maksimum pengurangan suhu 55°C dan maksimum penambahan suhu 55°C dari suhu yang telah ditentukan. Sedangkan untuk penjelasan pemanasan awal secara keseluruhan dijelaskan pada QW-406 yang mengatur perubahan suhu minimum dan maksimum dari suhu yang telah ditentukan dan perlunya proses *maintenance* apabila kurang dari atau melebihi toleransi tersebut.

Jarak pengukuran yang diambil menggunakan alat *infrared thermometer* terhadap material yang dilakukan pemanasan awal adalah $\pm 50\text{cm}$. Tidak terdapat aturan yang mengatur untuk jarak minimum ataupun maksimum dalam pengukuran suhu, akan tetapi peneliti mengambil jarak aman dalam pengukuran tersebut. Untuk titik pengukuran suhu pemanasan awal dapat dilihat pada Gambar III.5 dimana masing-masing titik tersebut berjarak 100mm dari alur las. Berdasarkan titik tersebut dapat mewakili bahwa panas dari pemanasan awal (*preheat*) telah tersebar secara merata pada keseluruhan material yang diberikan perlakuan panas.

Measurement Point



Gambar III. 5 Titik Pengukuran Temperatur Pemanasan Awal



Gambar III. 6 Proses Pengukuran Temperatur Pemanasan Awal

III.2.3 *Interpass Temperature*

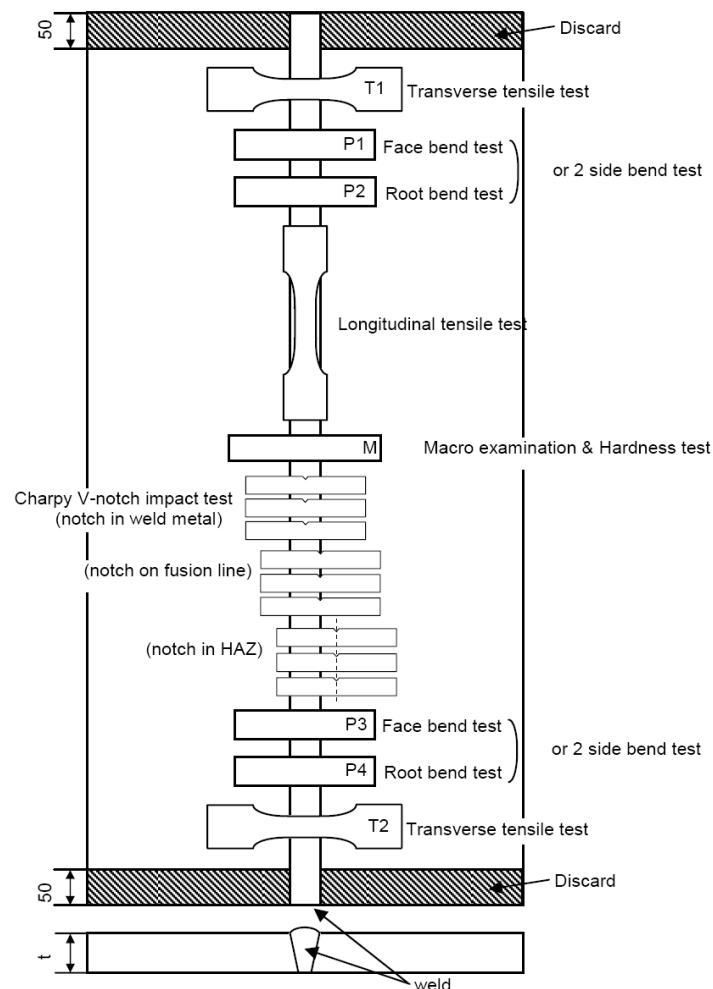
Pada saat dilakukan pengelasan, *maintenance* terhadap temperatur pengelasan dilakukan guna menjaga temperatur tetap pada toleransi temperatur yang diijinkan. Setelah material diberikan perlakuan panas berupa pemanasan awal (*preheat*) sebesar $200^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$ selanjutnya langsung dilakukan pengelasan. Setelah satu layer selesai dilakukan pengelasan, maka selanjutnya material diukur suhunya sebelum dilakukan pengelasan layer selanjutnya. Apabila material setelah dilakukan pengelasan menunjukkan suhu diatas 250°C maka material dibiarkan sementara untuk menurunkan suhu hingga mencapai dibawah 250°C . Apabila material menunjukkan suhu dibawah 150°C maka harus dilakukan pemanasan awal lagi sebelum dilakukan pengelasan selanjutnya. Apabila material masih berada dalam suhu $200^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$ dapat langsung dilanjutkan pengelasan untuk layer selanjutnya.

Penggunaan suhu *interpass* tersebut didasarkan pada [BKI volume VI sectoin 9 tahun 2015] yang menyebutkan bahwa untuk baja dengan kekuatan normal maupun tinggi untuk struktur *hull* (lambung kapal) ditentukan suhu *interpass* maksimal pada suhu 250°C . Jarak pengukuran sama halnya dengan jarak pengukuran pada saat proses pemanasan awal yaitu jarak diambil menggunakan alat *infrared thermometer* terhadap material yang dilakukan pemanasan awal adalah $\pm 50\text{cm}$. Tidak terdapat aturan yang mengatur untuk jarak minimum ataupun maksimum dalam pengukuran suhu. Untuk titik pengukuran suhu *interpass* sama halnya dengan titik pada saat pemanasan awal yang dapat dilihat pada Gambar III.5 dimana masing-masing titik tersebut berjarak 100mm dari alur las.

III.3. Prosedur Penelitian

Setelah dilakukan pengelasan pada material, selanjutnya material dipotong untuk dibuat spesimen uji. Pengambilan *test piece* untuk dilakukan pengujian didasarkan pada [BKI volume VI section 12 tahun 2015]. Contoh detail pengambilan *test piece* dapat dilihat pada Gambar III.7.

Pengujian yang dilakukan pada tugas akhir ini meliputi pengujian tarik, pengujian kekerasan, pengujian *impact* dan pengujian metalografi. Pengujian ini disesuaikan dengan tujuan dari penelitian untuk mengetahui sifat mekanis pada material berdasarkan aturan pada AWS (*American Welding Society*) D1.1 tahun 2015 dimana terdapat jumlah spesimen yang dibutuhkan untuk masing-masing pengujian. Dalam penelitian ini untuk spesimen pengujian dalam 1 variasi terdapat pengujian tarik sejumlah 2 spesimen, pengujian kekerasan sejumlah 1 spesimen, pengujian *impact* sejumlah 3 spesimen dan pengujian metalografi sejumlah 1 spesimen.



Gambar III. 7 Contoh Pengambilan Spesimen pada *Test Coupon*

Sumber : BKI Vol. VI Sec. 12, 2015

III.3.1. Pemotongan Material

Setelah proses pengelasan selesai dilakukan, dilanjutkan dengan proses pemotongan material. Proses pemotongan material dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Mengukur dimensi spesimen pada material (*test coupon*) yang akan dipotong menggunakan penggaris disesuaikan dengan jenis dan jumlah pengujian yang dilakukan
2. Material (*test coupon*) yang telah dilakukan pengukuran dimensi selanjutnya diletakkan pada mesin gergaji
3. Material (*test coupon*) yang akan dipotong akan dijepit pada mesin gergaji
4. Memastikan bahwa material (*test coupon*) yang telah dijepit tepat sesuai dengan ukuran sebelum dilakukan proses pemotongan
5. Dilakukan proses pemotongan berdasarkan dimensi spesimen
6. Setelah proses pemotongan selesai, material yang telah dipotong dilakukan pengukuran dimensi kembali untuk disesuaikan dengan dimensi yang ditentukan
7. Apabila terdapat kelebihan dimensi setelah dilakukan proses pemotongan material, maka dapat dilakukan proses *machining* pada spesimen yang bertujuan untuk menyesuaikan ukuran dimensi material sesuai dengan dimensi yang telah ditentukan



Gambar III. 8 Proses Pemotongan *Test Coupon*

III.3.2. Pembuatan Spesimen Uji

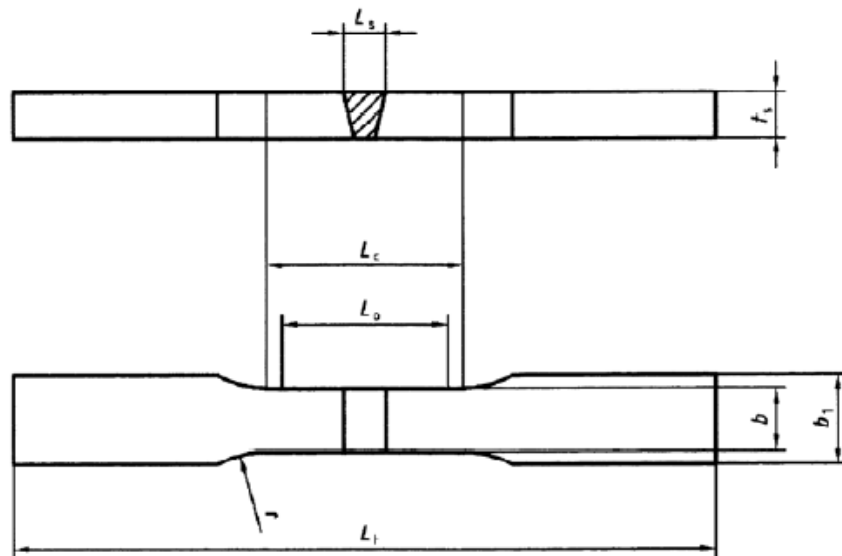
Dalam pembuatan spesimen uji, semula dilakukan pengukuran dimensi spesimen pada setiap material (*test coupon*) pengujian dan selanjutnya dilakukan proses pemotongan material. Lokasi pemotongan material dan pembuatan spesimen uji dilakukan di Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Kapal Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Pada penelitian tugas akhir ini, dilakukan 4 (empat) jenis proses pengujian disesuaikan dengan tujuan dari tugas akhir ini. Berikut daftar dan jumlah spesimen uji yang digunakan dalam penelitian ini:

1. *Tensile Test* berjumlah 8 buah (2 buah/pelat)
2. *Impact Test* berjumlah 12 buah (3 buah/pelat, *notch* terletak pada *weld metal*)
3. *Metalography Test* berjumlah 8 buah (2 buah/pelat, pada daerah *weld metal* dan HAZ)
4. *Hardness Test* berjumlah 4 buah (1 buah/pelat, 27 titik/buah pada daerah *base metal*, *weld metal* dan HAZ)

III.3.3. Pengujian Tarik

Pengujian tarik (*tensile test*) menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM). Dalam pengujian tarik terdapat sebanyak 8 buah spesimen, dimana pada setiap material (*test coupon*) atau setiap variasi perlakuan *rework* pada material masing-masing terdapat 2 buah spesimen uji. Tujuan terdapat 2 buah spesimen setiap variasi perlakuan *rework* adalah sebagai pembanding data yang dihasilkan dari hasil pengujian tarik sehingga dapat diambil rata-rata dari kedua data tersebut.

Sebelum dilakukan proses pengujian, potongan spesimen uji tarik hasil dari proses pemotongan selanjutnya dibentuk spesimen dengan menggunakan mesin *scrub* sehingga menghasilkan bentuk spesimen seperti pada Gambar III.9. Proses pembentukan spesimen uji tarik dilakukan di Laboratorium Teknologi Produksi dan Manajemen Perkapalan Departemen Teknik Perkapalan. Selanjutnya setelah terbentuk spesimen uji tarik yang sesuai dengan aturan yang digunakan, maka selanjutnya dapat dilakukan pengujian tarik. Aturan yang digunakan dalam pembentukan spesimen uji tarik ini berdasarkan pada peraturan BKI Vol. VI Sec. 11 *Rules for Welding*.



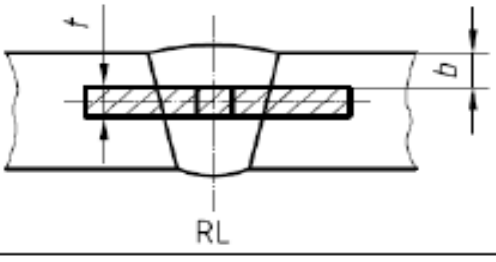
Denomination		Symbol	Dimensions (mm)
Total length of the specimen		L_t	to suit particular testing machine
Width of shoulder		b_1	$b + 12$
Width of the parallel length	Plates	b	$12 \text{ for } t_s \leq 2$
			$25 \text{ for } t_s > 2$
	Pipes	b	$6 \text{ for } D \leq 50$
			$12 \text{ for } 50 < D \leq 168,3$
			$25 \text{ for } D > 168,3$
Parallel length		L_c	$\geq L_s + 60$
Radius at shoulder		r	≥ 25
Note: L_s = maximum width of the weld after machining t_s = thickness of the test specimen			

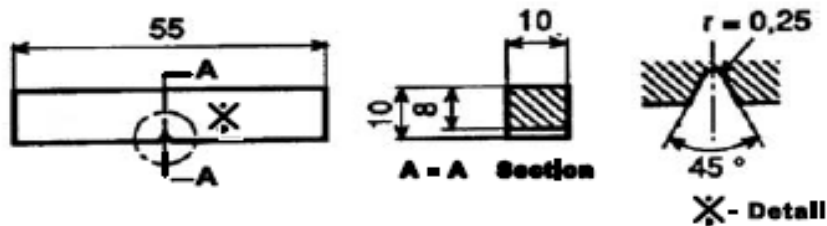
Gambar III. 9 Spesimen Uji Tarik

III.3.4. Pengujian Impact

Dalam pengujian impact, penelitian ini menggunakan metode *charpy* dengan spesimen uji berbentuk dan berukuran seperti pada gambar Gambar III.8. Pembentukan spesimen dalam pengujian impact yang dilakukan pada penelitian ini berdasarkan peraturan BKI Vol. VI Sec.11 *Rules for Welding* dan toleransi yang diijinkan untuk dimensi spesimen berdasarkan BKI Vol. V Sec. 2 *Rules for Materials*.

Spesimen uji *impact* berjumlah 12 buah, dimana terdapat 3 spesimen setiap *test coupon* atau variasi perlakuan *rework* pada setiap material dengan *notch* dibuat pada daerah *weld metal*. Tujuan *notch* hanya terletak pada daerah *weld metal* dikarenakan disesuaikan dengan tujuan dari penelitian tugas akhir ini dimana untuk mengetahui sifat mekanis pada logam las material akibat pengelasan ulang.

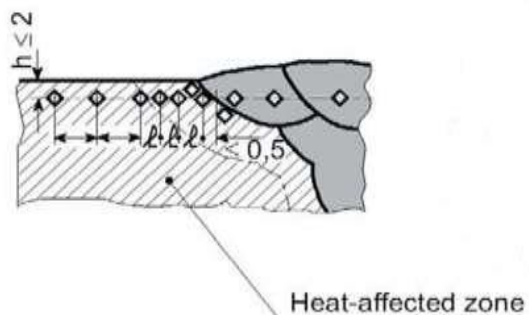
Location	Symbol	Representation
Centre of the weld	VWT 0/b	



Gambar III. 10 Dimensi dan Bentuk Spesimen Pengujian *Impact*

III.3.5. Pengujian Metalografi dan *Hardness*

Pengujian metalografi dan *Hardness* (kekerasan) material diuji pada potongan melintang meliputi daerah *weld metal* dan HAZ setiap material. Kedua pengujian ini dilakukan bergantian dan berdasarkan pada peraturan BKI Vol. VI Sec. 11 *Rules for Welding*. Pengujian *hardness* untuk pada penelitian ini menggunakan metode *vickers* dengan jumlah 27 titik diambil pada daerah *base metal*, *weld metal* dan HAZ serta foto *microstructure* diambil pada daerah *weld metal* dan HAZ dengan menggunakan *optical microscope*.



Tabel III. 2 Penentuan Titik Uji Kekerasan

Vickers hardness symbol	Distance between hardness test impression (mm)
HV 5	0.7
HV 10	1

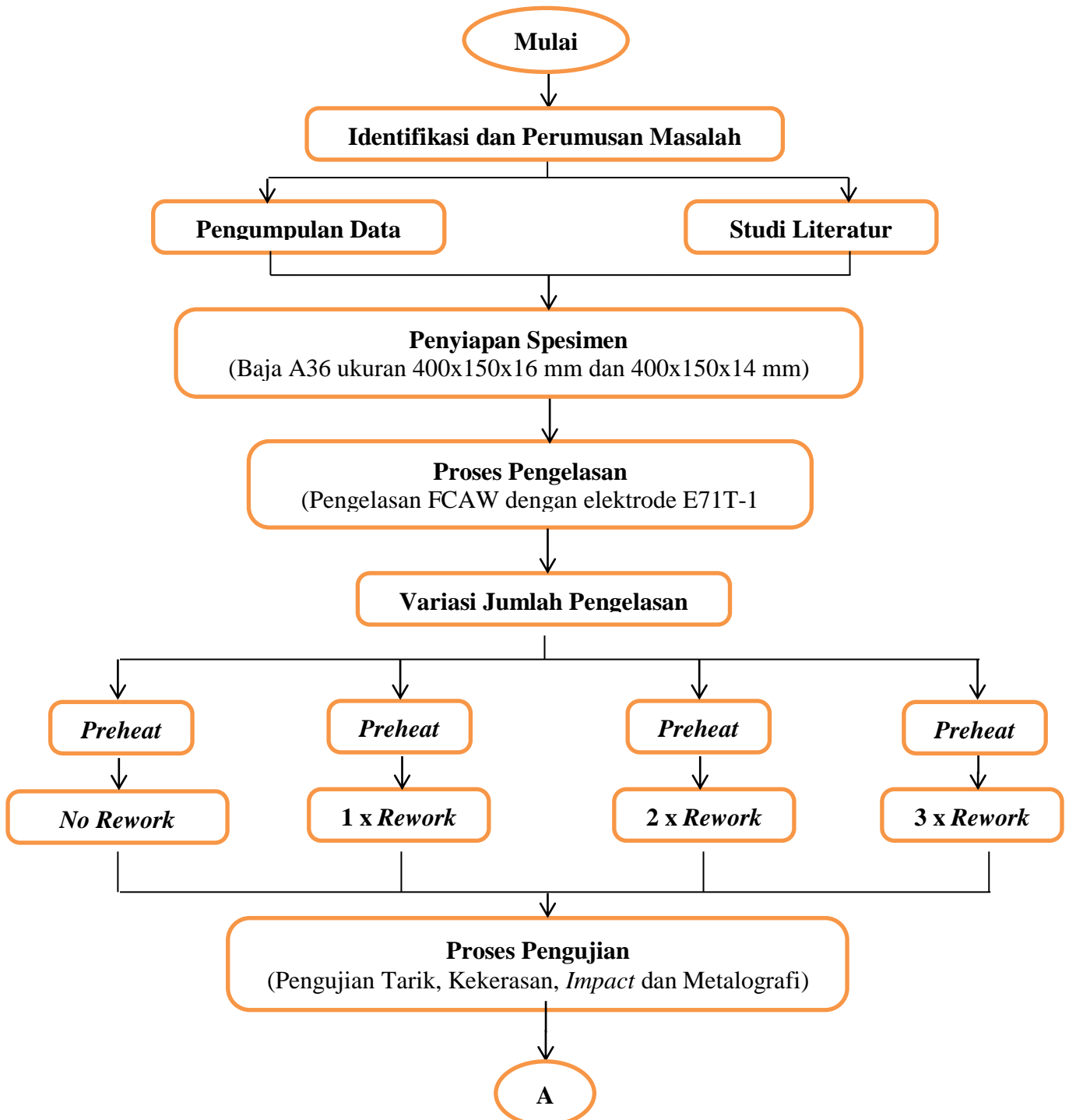


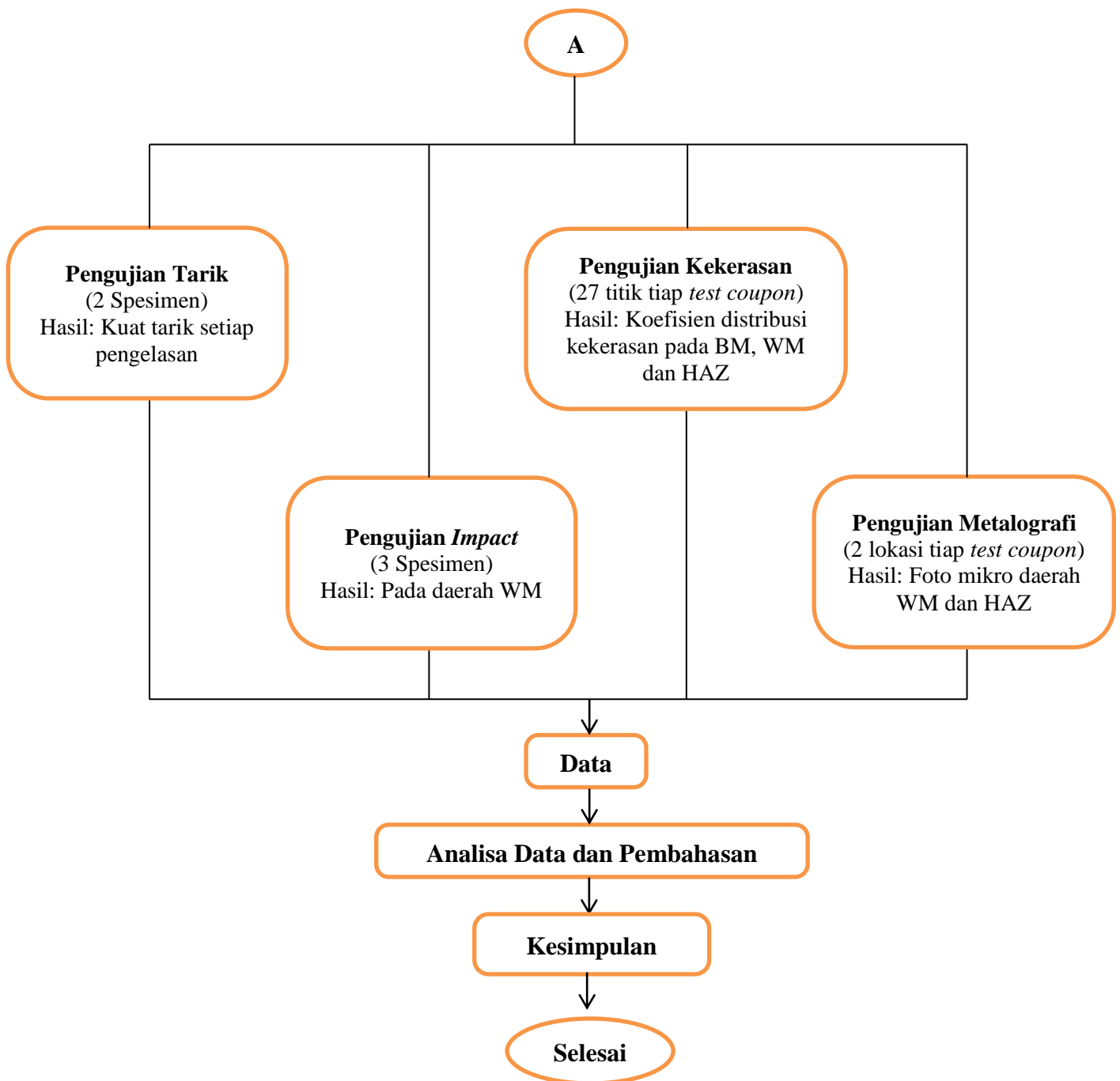
Gambar III. 11 Contoh Hasil Foto Mikro Pembesaran 400x

III.4. Lokasi Pengelasan dan Pengujian

Pada penelitian ini untuk menyelesaikan proses pengelasan dilakukan pada Laboratorium Teknologi Produksi dan Manajemen Perkapalan dan untuk proses pengujian dilakukan pada Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Kapal Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

III.5. Bagan Alir





Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Dimulai dengan tahap persiapan material baja ASTM A36 dengan ukuran yang telah ditentukan pada penelitian ini yaitu ukuran 400 x 150 x 16 mm sejumlah 4 buah dan 400 x 150 x 14 mm sejumlah 4 buah. Selanjutnya material dilakukan proses pembuatan bevel *single v* yang digunakan sebagai alur pengelasan. Material yang telah di bevel, dilanjutkan dengan proses pemasangan stopper pada sisi sebaliknya dari alur las yang bertujuan untuk menghindari terjadinya *bending* atau deformasi pada material (*test coupon*).

Pemanasan awal (*preheat*) diaplikasikan pada material sebelum dilakukan pengelasan. Suhu pemanasan awal ditentukan pada penelitian ini $200^{\circ}\text{C} \pm 55^{\circ}\text{C}$ sesuai dengan parameter pengelasan yang telah ditentukan sebelumnya. Setelah mencapai suhu pemanasan awal selanjutnya langsung dilakukan pengelasan dengan ampere 150 – 300 [A] dan voltage 22 – 32 [V] dengan variasi 3 x pengelasan ulang. Setelah pengelasan selesai dilanjutkan dengan pemotongan material menjadi spesimen uji.

Pada penelitian ini dilakukan 4 (empat) kali pengujian yang meliputi pengujian tarik, pengujian kekerasan, pengujian *impact* dan pengujian metalografi. Berikut hasil dan penjelasan masing-masing pengujian yang telah dilakukan.

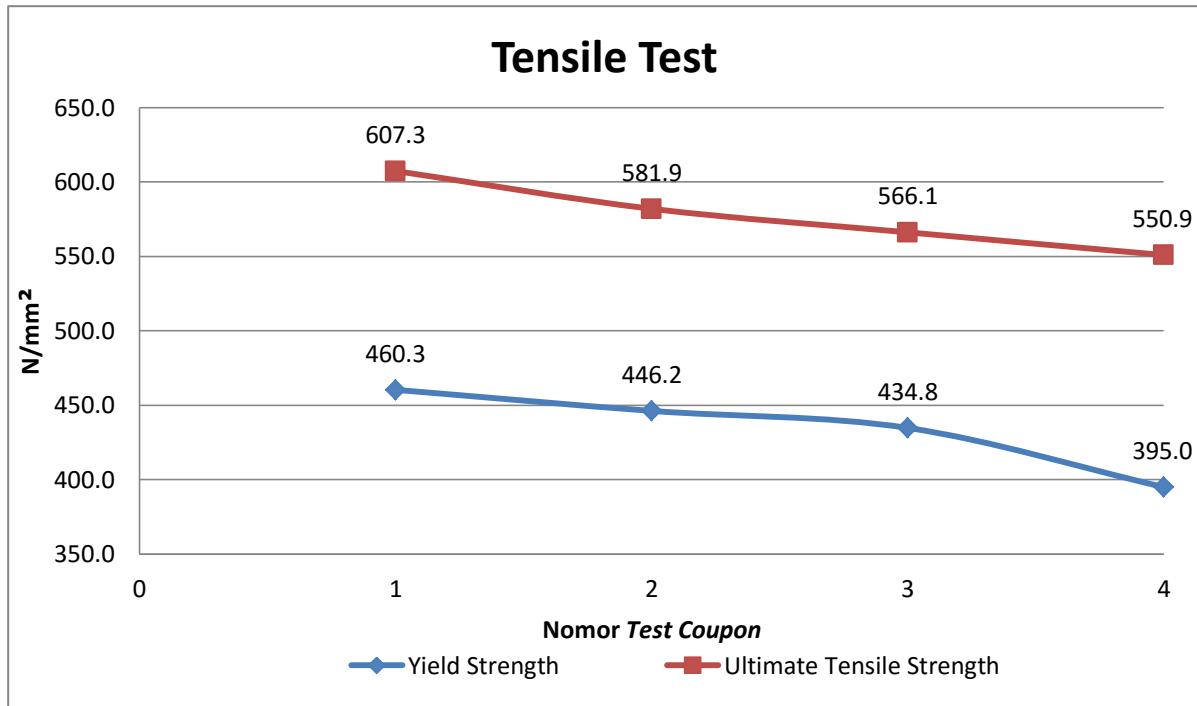
IV.1. Analisis Hasil Pengujian Tarik

Pengujian tarik bertujuan untuk mengetahui bagaimana kemampuan suatu material menerima beban tarik. Dalam pengujian tarik ini mengacu pada peraturan BKI Vol. VI Sec.11 *Rules for Welding* tahun 2015 dengan menggunakan dua spesimen yang diambil pada *test coupon* setiap pengelasan ulang. Tujuan diambil dua spesimen pada setiap *test coupon* adalah sebagai data pembanding antara kedua hasil pengujian sehingga dapat diambil nilai rata-rata dari data tersebut.

Berdasarkan hasil pengujian didapatkan kekuatan tarik maksimum (*ultimate tensile strength*) dan kekuatan luluh (*yield strength*) dari material uji. Kekuatan tarik maksimum dan kekuatan luluh yang didapatkan akan dibandingkan dengan kekuatan tarik maksimum dan kekuatan luluh pada setiap pengelasan ulang. Data hasil pengujian tarik ditunjukkan pada Tabel IV.1. dan Gambar IV.1.

Tabel IV. 1 Data Pengujian Tarik

Pelat	Kode	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Lokasi Patahan	Yield Strength (N/mm ²)	Ultimate Tensile Strength (N/mm ²)	Yield Strength rata-rata (N/mm ²)	Ultimate Tensile Strength rata-rata (N/mm ²)
1 (no rework)	1A	19.06	13.55	258.26	Weld Metal	460.78	598.23	460.34	607.33
	1B	19.04	13.59	258.75	Weld Metal	459.90	616.43		
2 (1 x rework)	2A	19.07	13.63	259.92	Weld Metal	453.99	582.87	446.18	581.94
	2B	19.01	13.56	257.78	Weld Metal	438.36	581.89		
3 (2 x rework)	3A	19.08	13.56	258.73	Weld Metal	444.48	572.02	434.75	566.14
	3B	19.03	13.60	258.81	Weld Metal	425.02	560.26		
4 (3 x rework)	4A	19.03	13.57	258.24	Weld Metal	394.98	551.81	395.01	550.88
	4B	19.07	13.54	258.21	Weld Metal	395.03	549.94		



Gambar IV. 1 Grafik Pengujian Tarik

Berdasarkan data hasil pengujian tarik yang dapat dilihat pada Tabel IV.1 dan Gambar IV.1 diatas, dapat dianalisa bahwa nilai *yield strength* dan *ultimate tensile strength* tertinggi terdapat pada pelat nomor 1 dengan perlakuan 1 x pengelasan (*no rework*) sebesar 460.34 N/mm² (*yield strength*) dan 607.33 N/mm² (*ultimate tensile strength*). Sedangkan untuk nilai *yield strength* dan *ultimate tensile strength* terendah terdapat pada pelat nomor 4 dengan perlakuan 4 x pengelasan (3 x *rework*) sebesar 395.01 N/mm² (*yield strength*) dan 550.88 N/mm² (*ultimate tensile strength*). Akan tetapi terdapat kemungkinan bahwa pada daerah *base metal* setelah dilakukan 3 x pengelasan ulang nilai kekuatan material akan turun drastis.

Pada Tabel IV.1 dan Gambar IV.1 menunjukkan bahwa secara keseluruhan hasil pengujian tarik mengalami penurunan baik nilai *yield strength* maupun nilai *ultimate tensile strength*. Penurunan tersebut terjadi akibat dilakukannya pengelasan ulang pada material, akan tetapi nilai penurunan tidak terlalu signifikan. Hal tersebut menjelaskan bahwa material yang sering dilakukan pengelasan ulang akan berkurang nilai kuat tarik pada material tersebut, akan tetapi tidak terlalu signifikan karena adanya pengaruh perlakuan panas pada material berupa pemanasan awal (*preheat*) sebelum dilakukan pengelasan. Pemanasan awal (*preheat*) dapat memperlambat laju pendinginan dan memungkinkan hidrogen dapat terdifusi keluar dari logam las dan logam dasar sehingga menghasilkan struktur logam lebih ulet yang memiliki ketahanan terhadap retak lebih besar. Selain itu juga dapat mengurangi tegangan sisa dalam logam las.

Apabila ditinjau dari segi lokasi patahnya material saat pengujian tarik, semua spesimen uji tarik pada setiap pengelasan ulang mengalami patah pada lokasi *weld metal*. Hal tersebut dikarenakan penelitian difokuskan untuk mengetahui sifat mekanis pada logam las material baja ASTM A36 akibat pengelasan ulang. Pada normalnya spesimen uji akan patah pada daerah *base metal* dikarenakan nilai kuat tarik *weld metal* lebih besar jika dibandingkan dengan nilai kuat tarik *base metal*. Dengan kata lain, nilai kuat tarik dari *filler metal* E71T-1 berada diatas nilai kuat tarik baja ASTM A36 yang menyebabkan lokasi patahnya pada umumnya terletak pada daerah *base metal*.

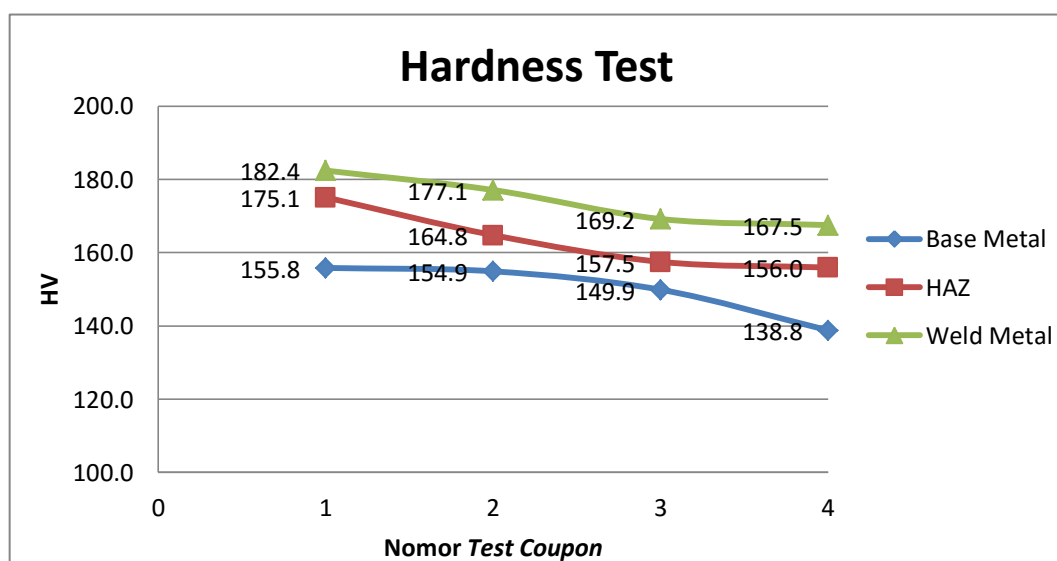
IV.2. Analisis Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dengan metode bertujuan untuk menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap *indentor* yang ditekankan pada permukaan material uji (*speciment*) tersebut. Pengujian kekerasan mengacu pada peraturan BKI Vol. VI Sec.11 *Rules for Welding* tahun 2015. Dalam pengujian kekerasan ini dilakukan dengan bahan uji berjumlah 1 buah setiap pengelasan ulang, dimana terdapat tiga lokasi pengujian yaitu: *base metal*, HAZ dan *weld metal*. Berdasarkan hasil pengujian kekerasan didapatkan data yang ditunjukkan pada Tabel IV.2. dan Gambar IV.2.

Tabel IV. 2 Data Pengujian Kekerasan

Pelat	Lokasi Titik Identifikasi		Angka Kekerasan (HV)	Angka Kekerasan rata-rata (HV)
1 (no rework)	Base Metal	Top	156.5	155.8
		Center	155.2	
		Bottom	155.9	
	HAZ	Top	177.2	175.1
		Center	172.5	
		Bottom	175.6	
	Weld Metal	Top	170	182.4
		Center	177	
		Bottom	200.2	
2 (1 x rework)	Base Metal	Top	153.7	154.9
		Center	156.4	
		Bottom	154.6	
	HAZ	Top	174.8	164.8
		Center	163	
		Bottom	156.6	
	Weld Metal	Top	178.9	177.1
		Center	186.1	
		Bottom	166.3	
3 (2 x rework)	Base Metal	Top	154.2	149.9
		Center	153.3	
		Bottom	142.2	
	HAZ	Top	158.7	157.5
		Center	156.8	

4 (3 x <i>rework</i>)	Weld Metal	Bottom	157	169.2
		Top	184.6	
		Center	158	
		Bottom	165	
	Base Metal	Top	136.6	138.8
		Center	146	
		Bottom	133.9	
	HAZ	Top	161.4	156
		Center	157.3	
		Bottom	149.1	
	Weld Metal	Top	179	167.5
		Center	167.3	
		Bottom	156.3	



Gambar IV. 2 Grafik Pengujian Kekerasan

Berdasarkan hasil pengujian kekerasan pelat baja A36 yang disajikan pada Tabel IV.2 diatas, dapat dianalisa bahwa nilai kekerasan terbesar dimiliki pada material 1 (*no rework*) sebesar 155.8 HV pada daerah *base metal*, 175.1 HV pada daerah HAZ dan 182.4 HV pada daerah *weld metal*. Sedangkan untuk nilai kekerasan terendah dimiliki pada material 4 (3 x *rework*) sebesar 138.8 HV pada daerah *base metal*, 156 HV pada daerah HAZ dan 167.5 HV pada daerah *weld metal*. Akan tetapi terdapat kemungkinan bahwa pada daerah *base metal* setelah dilakukan 3 x pengelasan ulang nilai kekuatan material akan turun drastis.

Dilihat dari Gambar IV.2 Grafik Pengujian Kekerasan bahwa secara keseluruhan nilai kekerasan material berkurang seiring dilakukannya pengelasan ulang. Hal tersebut disebabkan material menerima pengaruh panas yang berlebih pada saat dilakukannya pengelasan ulang. Bahwa semakin banyak dilakukan pengelasan ulang maka nilai kekerasan material semakin berkurang. Hal tersebut berlaku pada keseluruhan material baik pada *base metal*, HAZ maupun pada *weld metal*.

Pada Gambar IV.2 terlihat bahwa penurunan nilai kekerasan pada setiap pengelasan ulang tidak terlalu signifikan. Hal tersebut dikarenakan material diberikan *heat treatment* berupa pemanasan awal (*preheat*) yang dapat mengurangi tegangan sisa pada logam las dan pada daerah HAZ sehingga penurunan nilai kekerasan tidak terlalu signifikan. Hal tersebut ada hubungannya dengan hasil pengujian tarik pada sub bab IV.1, yaitu *tensile strength* pada material 1 (*no repair*) lebih besar daripada material 4 (*3x repair*). *Tensile strength* mengindikasikan sebagai tegangan maksimum yang dapat ditahan oleh material sebelum patah. Hal ini ada hubungannya dengan kekerasan, semakin kecil nilai *tensile strength*, semakin kecil juga nilai kekerasan yang dimiliki material tersebut.

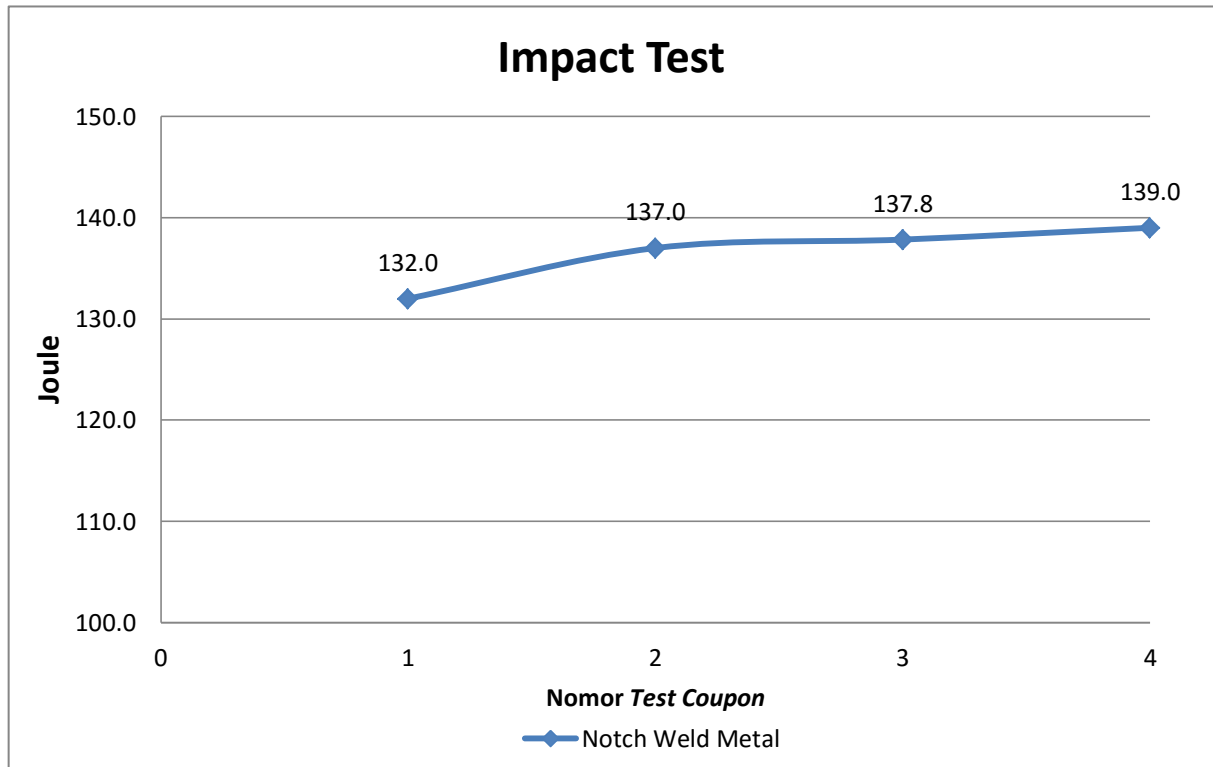
IV.3. Analisis Hasil Pengujian *Impact*

Pengujian *impact* bertujuan untuk mengetahui kegetasan atau keuletan suatu bahan uji yang akan diuji dengan cara pembebanan secara tiba-tiba terhadap benda yang akan diuji secara statik. Pengujian *impact* dilakukan dengan bahan uji berjumlah 3 buah setiap pengelasan ulang, dimana bahan uji dilakukan pengujian pada daerah *weld metal*. Dari 3 buah spesimen uji akan diperoleh 3 nilai yang selanjutnya akan diambil nilai rata-rata.

Pengujian *impact* mengacu pada peraturan BKI Vol. VI Sec.11 *Rules for Welding* tahun 2015. Data hasil pengujian *impact* dapat ditunjukkan pada Tabel IV.3 dan Gambar IV.3 yang disajikan dalam diagram kurva. Selanjutnya dilakukan analisa pada hasil pengujian *impact*.

Tabel IV. 3 Data Pengujian *Impact*

Pelat	Kode	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Energi <i>absorb</i> (J)	Energi <i>absorb</i> rata-rata (J)
1 (<i>no rework</i>)	1 W 1	55.56	10.08	8.06	126	132
	1 W 2	55.34	10.06	8.03	134	
	1 W 3	55.39	10.09	8.05	136	
2 (1 x <i>rework</i>)	2 W 1	55.24	10.02	8.04	137.5	137
	2 W 2	55.27	10.08	8.01	135	
	2 W 3	55.30	10.06	8.03	138.5	
3 (2 x <i>rework</i>)	3 W 1	55.40	10.05	8.06	140	137.8
	3 W 2	55.39	10.04	8.05	136.5	
	3 W 3	55.35	10.07	8.02	137	
4 (3 x <i>rework</i>)	4 W 1	55.51	10.08	8.02	137.5	139
	4 W 2	55.53	10.01	8.00	140	
	4 W 3	55.48	10.05	8.03	139.5	



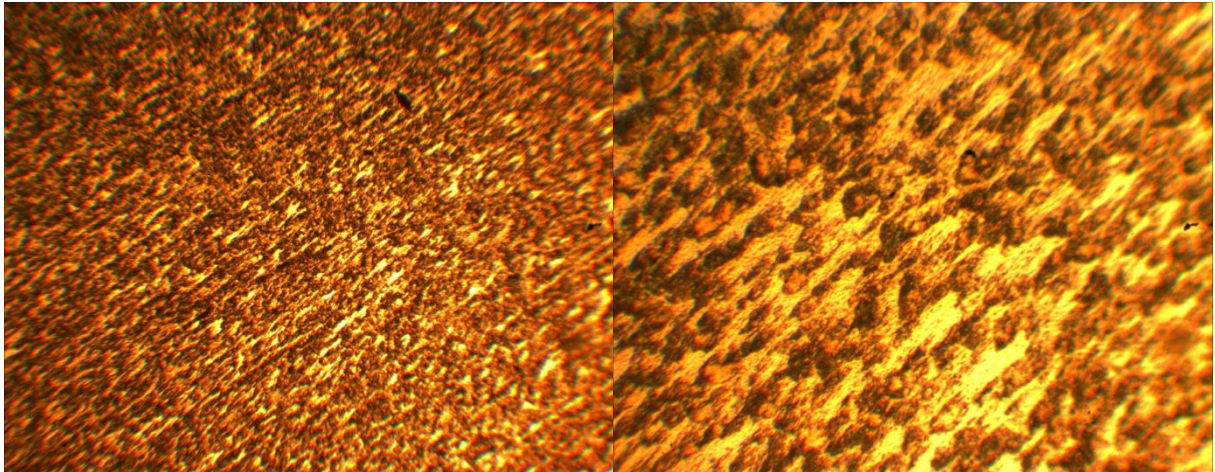
Gambar IV. 3 Grafik Pengujian *Impact*

Berdasarkan data yang ditunjukkan pada pengujian *impact* diatas dapat dianalisa bahwa pelat baja ASTM A36 menghasilkan energi *absorb* pada daerah *weld metal*. Energi *absorb* tertinggi dimiliki pada pelat nomor 4 dengan perlakuan 4 x pengelasan (3 x *rework*) sebesar 139 Joule. Sedangkan untuk energi *absorb* terendah dimiliki pada pelat nomor 1 dengan perlakuan 1 x pengelasan (*no rework*) sebesar 132 Joule. Pada Tabel IV.3 dan Gambar IV.3 menunjukkan bahwa energi *absorb* mengalami kenaikan. Kenaikan energi *absorb* tersebut akibat adanya pengaruh dilakukannya pengelasan ulang pada material yang diberikan perlakuan panas berupa pemanasan awal (*preheat*), dimana hal tersebut dapat membuat nilai kekerasan material berkurang dan nilai energi *absorb* yang membentuk sifat material menjadi ulet.

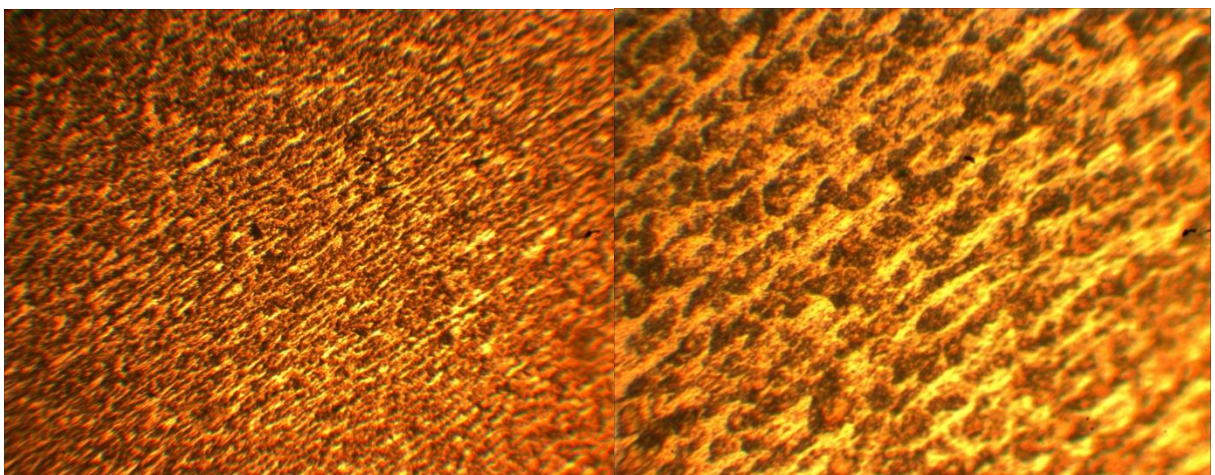
Hal tersebut dapat dibuktikan dengan pernyataan pada Sub Bab IV.2 tentang analisis hasil pengujian kekerasan, dimana nilai kekerasan pada *test coupon* nomor 4 (3 x *rework*) dibandingkan dengan *test coupon* nomor 1 (*no rework*) berkurang seiring dilakukannya pengelasan ulang pada material. Dapat disimpulkan bahwa dimana material dengan nilai kekerasan material semakin menurun akibat dilakukan pengelasan ulang yang diberikan perlakuan panas berupa pemanasan awal (*preheat*), maka semakin naik nilai energi *absorb* material dan membuat material tersebut menjadi lebih ulet.

IV.4. Analisis Hasil Pengujian Metalografi

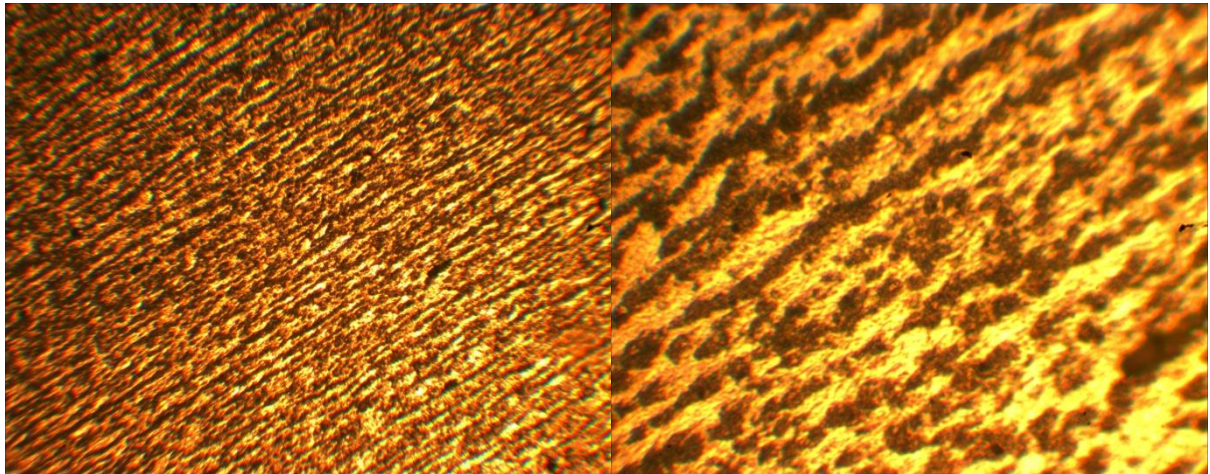
Pengujian metalografi ini dikhususkan untuk melihat struktur mikro hasil pengelasan pada material. Pengujian struktur mikro bertujuan untuk mengetahui kondisi aktual dari batas butir (*grain boundary*) yang terdapat pada suatu material. Hal tersebut berkaitan dengan sifat mekanis pada baja karbon. Komposisi antara *ferrite* dan *pearlite* menjadi fokus analisa pada pengujian ini. Pengujian struktur mikro dilakukan dengan menggunakan *optical microscope*. Data hasil pengujian struktur mikro dapat ditunjukkan pada Gambar IV.4, IV.5, IV.6, IV.7 yang merupakan foto mikro pada daerah HAZ dengan pembesaran 100x dan 400x. Gambar IV.8, IV.9, IV.10, IV.11 merupakan foto mikro pada daerah *weld metal* dengan pembesaran 100x dan 400x.



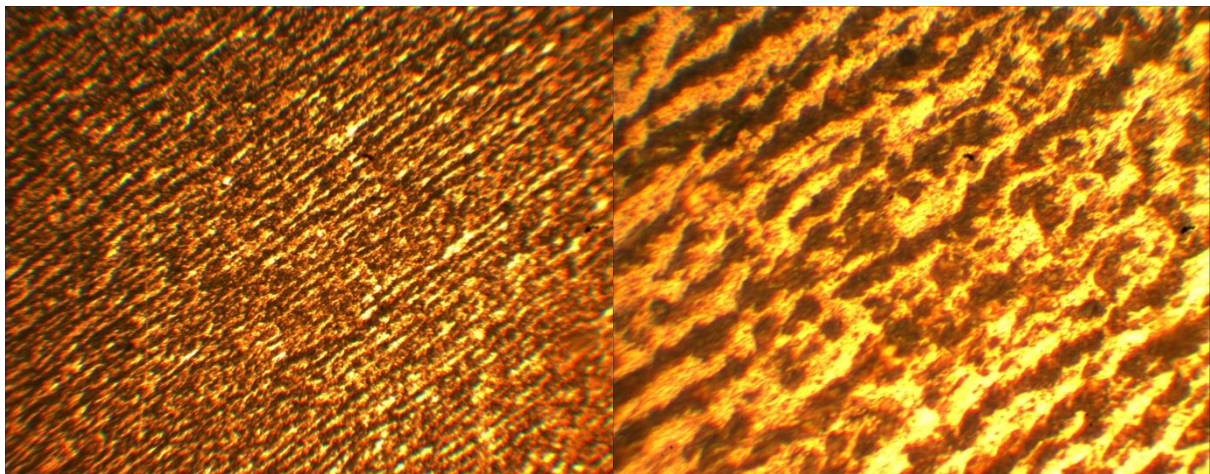
Gambar IV. 4 Foto Mikro Material 1 (*no rework*) Daerah HAZ Pembesaran 100x dan 400x



Gambar IV. 5 Foto Mikro Material 2 (*1x rework*) Daerah HAZ Pembesaran 100x dan 400x



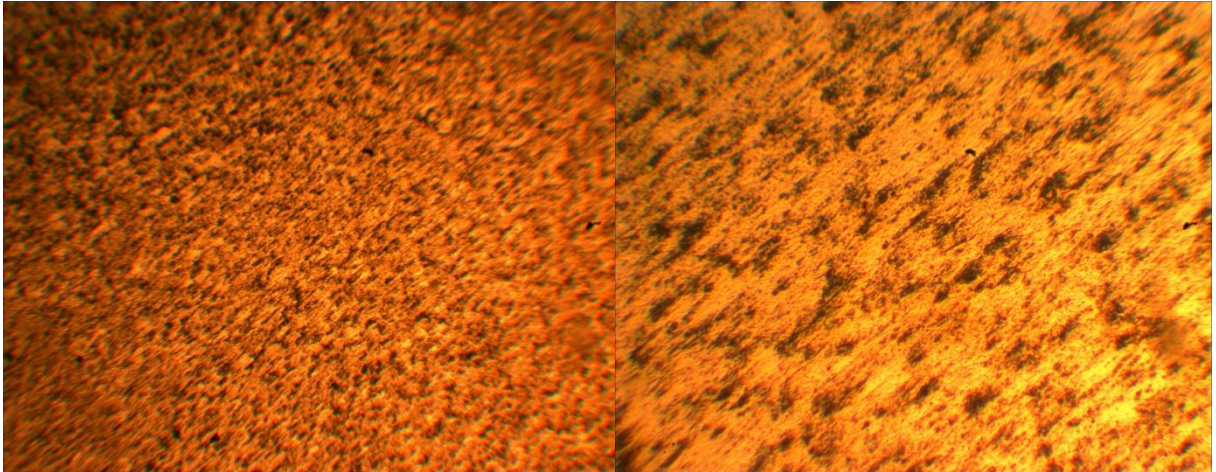
Gambar IV. 6 Foto Mikro Material 3 (2x rework) Daerah HAZ Pembesaran 100x dan 400x



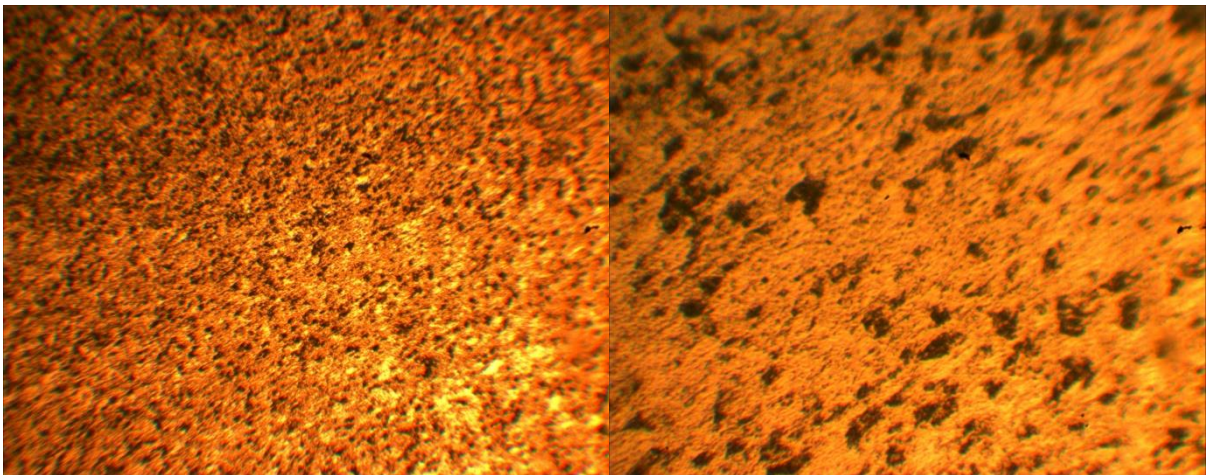
Gambar IV. 7 Foto Mikro Material 4 (3x rework) Daerah HAZ Pembesaran 100x dan 400x

Berdasarkan hasil pengujian struktur mikro pada daerah HAZ (*Heat Affected Zone*), dapat diperhatikan bahwa butiran yang terbentuk terdiri dari *ferrite* dan *pearlite*, dimana *ferrite* butirannya berwarna terang sedangkan *pearlite* butirannya berwarna gelap. Jika diperhatikan pada Gambar IV.4, IV.5, IV.6, IV.7 bahwa pada daerah HAZ baik pada material 1 (*no rework*), material 2 (*1x rework*), material 3 (*2x rework*) dan material 4 (*3x rework*) terdapat sebuah perubahan yang tidak terlalu signifikan untuk komposisi *ferrite* dan *pearlite* ukuran butirnya semakin besar.

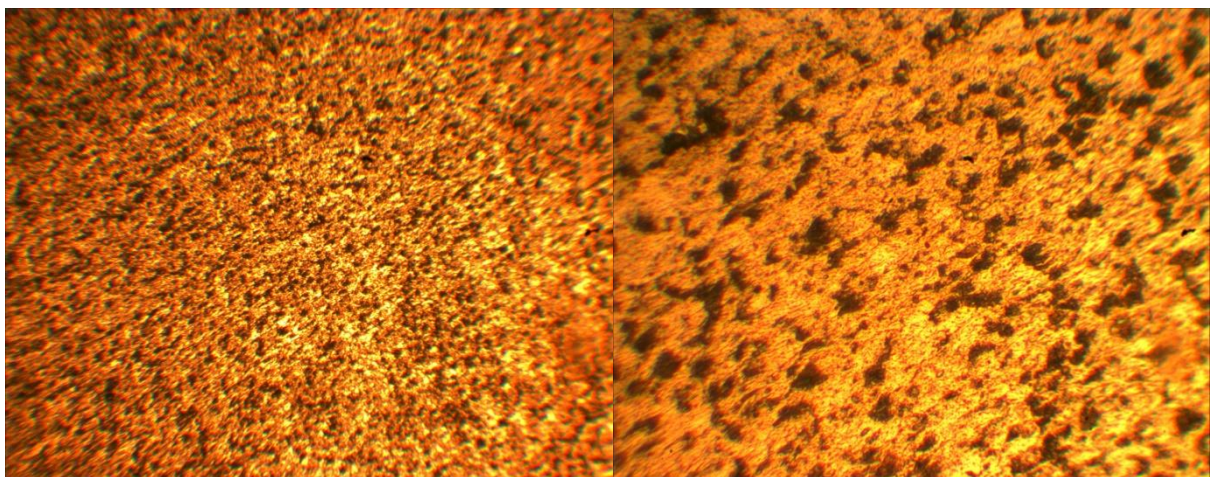
Hal tersebut diakibatkan adanya pengaruh pada pengelasan ulang serta perubahan yang tidak terlalu signifikan diakibatkan adanya *heat treatment* yaitu pemanasan awal (*preheat*) yang dilakukan pada material sebelum dilakukan pengelasan. Dengan demikian pemanasan awal memberikan sedikit pengaruh pada pengelasan ulang ditinjau pada daerah HAZ material baja ASTM A36.



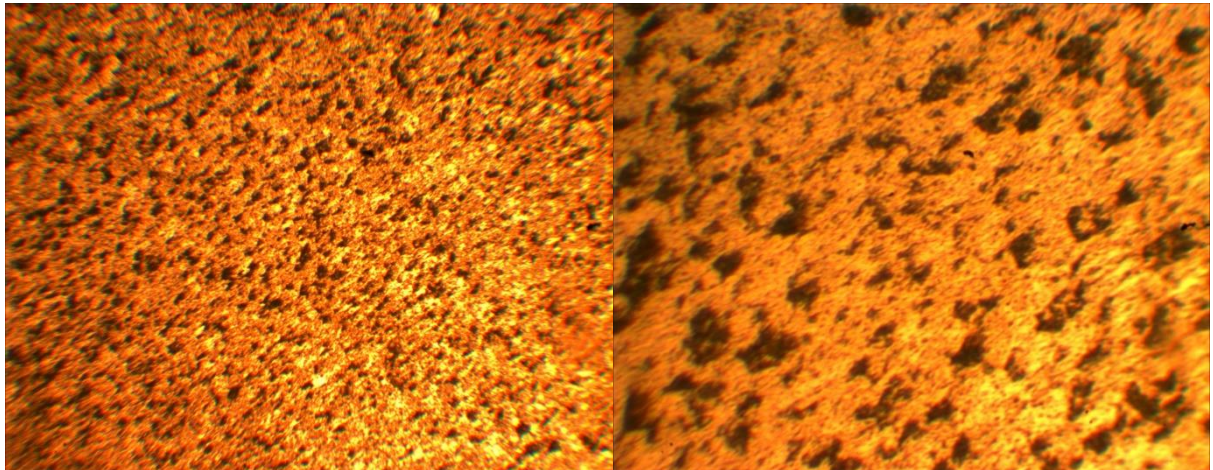
**Gambar IV. 8 Foto Mikro Material 1(*no rework*) Daerah *Weld Metal*
Pembesaran 100x dan 400x**



**Gambar IV. 9 Foto Mikro Material 2 (1x *rework*) Daerah *Weld Metal*
Pembesaran 100x dan 400x**



**Gambar IV. 10 Foto Mikro Material 3 (2x *rework*) Daerah *Weld Metal*
Pembesaran 100x dan 400x**



**Gambar IV. 11 Foto Mikro Material 4 (3x rework) Daerah Weld Metal
Pembesaran 100x dan 400x**

Berdasarkan hasil pengujian struktur mikro pada daerah *weld metal*, dapat diperhatikan bahwa butiran yang terbentuk terdiri dari *ferrite* dan *pearlite*, dimana *ferrite* butirannya berwarna terang sedangkan *pearlite* butirannya berwarna gelap. Pernyataan tersebut juga berlaku pada daerah *weld metal*. Jika diperhatikan pada Gambar IV.8, IV.9, IV.10, IV.11 bahwa pada daerah *weld metal* baik pada material 1 (*no rework*), material 2 (1x *rework*), material 3 (2x *rework*) dan material 4 (3x *rework*) terdapat sebuah perubahan yang tidak terlalu signifikan untuk komposisi *ferrite* dan *pearlite* ukuran butirnya semakin besar.

Hal tersebut diakibatkan adanya pengaruh pada pengelasan ulang serta perubahan yang tidak terlalu signifikan diakibatkan adanya *heat treatment* yaitu pemanasan awal (*preheat*) yang dilakukan pada material sebelum dilakukan pengelasan. Dengan demikian pemanasan awal memberikan sedikit pengaruh pada pengelasan ulang ditinjau pada daerah *weld metal* material baja ASTM A36.

Terdapat hubungan antara hasil pengujian struktur mikro dengan hasil pengujian kekerasan bahwa perbedaan besaran butir tersebut akan menghasilkan angka kekerasan yang berbeda, semakin besar ukuran butir pada material maka akan semakin kecil angka kekerasan yang dimiliki oleh material tersebut. Pernyataan tersebut mendukung hasil dari pengujian kekerasan yang dijelaskan pada Sub Bab IV.2 dimana material 1 dengan perlakuan *no rework* memiliki angka kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan material 4 dengan perlakuan 3x *rework*. Dengan demikian penelitian ini sejalan dengan Hall Petch Equation yang telah dibuktikan dimana semakin besar ukuran butir pada material maka angka kekerasan material akan semakin menurun atau kecil.

IV.5. Hubungan Keseluruhan Pengujian

Berdasarkan keseluruhan pengujian yang telah dilakukan pada penelitian ini, terdapat keterkaitan antara pengujian satu dengan pengujian yang lain dimana hal tersebut dapat divalidasikan terhadap penelitian dalam *Hall Petch Equation* yang menyatakan bahwa semakin kecil ukuran butir maka semakin kecil tekanan tolakan yang dirasakan oleh dislokasi batas butir dan semakin tinggi tegangan yang diperlukan untuk menyebarkan dislokasi melalui material. Selain itu, semakin kecil ukuran butir pada material maka material tersebut memiliki angka kekerasan yang tinggi.

Dengan demikian hasil dari pengujian penelitian ini sesuai dengan *Hall Petch Equation* dimana nilai dari pengujian pada material 1 (*no rework*), material 2 (*1x rework*), material 3 (*2x rework*) dan material 4 (*3x rework*) didapatkan bahwa nilai hasil pengujian tarik yang semakin menurun akibat pengelasan ulang, nilai kekerasan material yang semakin menurun seiring dilakukannya pengelasan ulang, nilai energi *absorb* yang semakin besar atau meningkat dan ukuran butir yang semakin besar walaupun tidak terlalu signifikan perubahan ukuran butir tersebut.

Berdasarkan penelitian sebelumnya [Kabutey A., 2011] didapatkan hasil penelitian sebagai berikut :

Tabel IV. 4 Data Pengujian tanpa Pemanasan Awal

Pengelasan Ulang tanpa Pemanasan Awal (<i>preheat</i>)				
Variasi Pengelasan	Uji Kekerasan (HV)	Uji Tarik (N/mm ²)	Persentase Uji Kekerasan (%)	Persentase Uji Tarik (%)
	HAZ	Weld Metal		
1x	190	647	0.03	0.03
2x	195	667	-0.08	-0.05
3x	180	637		
5x	176	556	-0.02	-0.15
7x	174	535	-0.01	-0.04

Sedangkan untuk hasil pengujian *impact* dan pengujian metalografi disebutkan bahwa energi *impact* pada daerah HAZ semakin bertambah atau meningkat seiring dengan meningkatnya ukuran butir pada HAZ, nilai energi *impact* dipengaruhi oleh ukuran butir. Untuk hasil pengujian metalografi dihasilkan dari 1 x pengelasan yang semula ukuran butir *ferrite* sebesar 6.5 μm , pada 7 x pengelasan ukuran butir *ferrite* menjadi sebesar 7.5 μm .

Dengan demikian hasil penelitian tersebut sesuai dengan *Hall Petch Equation* dan sejalan dengan penelitian penulis.

Jika dibandingkan dengan hasil penelitian pada tugas akhir ini apabila disajikan dalam bentuk tabel sederhana seperti berikut :

Tabel IV. 5 Data Pengujian dengan Pemanasan Awal

Pengelasan Ulang dengan Pemanasan Awal (<i>preheat</i>)				
Variasi Pengelasan	Uji Kekerasan (HV)	Uji Tarik (N/mm ²)	Persentase Uji Kekerasan (%)	Persentase Uji Tarik (%)
	HAZ	Weld Metal		
1x	175.1	607.3	-0.06	-0.04
2x	164.8	581.9		
3x	157.5	566.1	-0.05	-0.03
4x	156	550.9	-0.01	-0.03

Untuk hasil pengujian *impact* dan pengujian metalografi didapatkan bahwa nilai energi *absorb* yang diuji pada daerah *weld* metal semakin bertambah atau meningkat seiring dilakukannya pengelasan ulang, sedangkan untuk hasil pengujian metalografi pada daerah HAZ dan *weld metal* ukuran butir *ferrite* dan *pearlite* semakin bertambah besar walaupun perubahan yang terjadi tidak terlalu signifikan.

Tabel IV. 6 Data Persentase Rata-Rata Pengujian

Tanpa Preheat		Dengan Preheat		Persentase Rata-rata	
Persentase Uji Kekerasan (%)	Persentase Uji Tarik (%)	Persentase Uji Kekerasan (%)	Persentase Uji Tarik (%)	Uji Kekerasan (%)	Uji Tarik (%)
0.03	0.03	-0.06	-0.04	1.41	1.69
-0.08	-0.05	-0.05	-0.03	-0.80	-0.69
-0.02	-0.15	-0.01	-0.03	-1.36	-4.28

Berdasarkan data persentase rata-rata pengujian yang diperoleh diatas, maka pemanasan awal (*preheat*) berpengaruh sedikit atau tidak terlalu signifikan terhadap material yang dilakukan pengelasan ulang pada tempat yang sama. Dengan demikian aplikasi pemanasan awal (*preheat*) dapat dijadikan pertimbangan dalam industri galangan kapal dalam pembangunan ataupun proses reparasi kapal yang sering kali terjadi kesalahan dalam proses pengelasan yang mengharuskan dilakukan pengelasan ulang (*rework*). Akan tetapi direkomendasikan maksimal dilakukan 2 x pengelasan ulang pada material dikarenakan setelah 2 x pengelasan ulang nilai kekuatan, ketangguhan dan kekerasan material turun drastis.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1. Kesimpulan

Setelah dilakukan pengujian dan menganalisa hasil pengujian, maka kesimpulan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Nilai *yield strength* dan *ultimate tensile strength* tertinggi pada material 1 (*no rework*) sebesar 460.34 N/mm² dan 607.33 N/mm². Sedangkan nilai *yield strength* dan *ultimate tensile strength* terendah pada material 4 (3 x *rework*) sebesar 395.01 N/mm² dan 550.88 N/mm². Nilai *yield strength* dan *ultimate tensile strength* mengalami penurunan seiring dilakukan pengelasan ulang, dimana pemanasan awal (*preheat*) berpengaruh terhadap penurunan nilai yang lebih stabil. Berdasarkan data hasil pengujian nilai *yield strength* dan *ultimate tensile strength* mengalami penurunan akan tetapi tidak terlalu signifikan. Hal tersebut dapat dijelaskan bahwa material yang sering dilakukan pengelasan ulang maka nilai kuat tariknya semakin berkurang dan pemberian perlakuan panas berupa pemanasan awal (*preheat*) yang dapat menjadikan material lebih ulet.
2. Nilai kekerasan tertinggi pada material 1 (*no rework*) pada daerah *base metal* sebesar 155.8 HV, HAZ sebesar 175.1 HV dan *weld metal* sebesar 182.4 HV. Sedangkan Nilai kekerasan terendah pada material 4 (3 x *rework*) pada daerah *base metal* sebesar 138.8 HV, HAZ sebesar 156 HV dan *weld metal* sebesar 167.5 HV. Terjadi penurunan nilai kekerasan pada daerah *base metal*, HAZ dan *weld metal*. Hal tersebut dapat dijelaskan bahwa panas yang diterima oleh material bertambah dimana semakin banyak dilakukan pengelasan ulang maka nilai kekerasan material akan berkurang. Penurunan nilai kekerasan yang tidak terlalu signifikan terjadi karena adanya pengaruh perlakuan panas berupa pemanasan awal (*preheat*) yang dilakukan pada setiap pengelasan ulang.
3. Nilai energi *absorb* pada material 1 (*no rework*) sebesar 132 Joule, pada material 2 (1 x *rework*) sebesar 137 Joule, pada material 3 (2 x *rework*) sebesar 137.8 Joule dan pada material 4 (3 x *rework*) sebesar 139 Joule. Terjadi kenaikan energi *absorb* akibat dilakukannya pengelasan ulang serta diberikan perlakuan panas berupa pemanasan

awal (*preheat*) pada material. Hal tersebut dapat menaikkan energi *absorb* pada material dan membuat sifat material menjadi lebih ulet.

4. Material yang sering dilakukan pengelasan ulang maka butiran *pearlite* dan *ferrite* yang terbentuk akan semakin besar dan rapat. Pemanasan awal (*preheat*) berpengaruh sedikit atau tidak terlalu signifikan terhadap pengelasan ulang pada ukuran butir, dimana semakin besar ukuran butir maka akan semakin kecil angka kekerasan pada material.

V.2. Saran

Saran yang dapat dilakukan pada percobaan selanjutnya agar dapat lebih baik dan dapat menyempurnakan percobaan yang telah dilakukan dalam Tugas Akhir ini adalah :

1. Melakukan perbandingan pada salah satu material yang diberikan perlakuan panas dengan material tanpa perlakuan panas

DAFTAR PUSTAKA

- American Welding Society. (2001). *Welding Handbook Ninth Edition Volume 1 Welding Science and Technology*. United States of America: American Welding Society Education Department.
- American Welding Society. (2004). *Welding Handbook Ninth Edition Volume 2 Welding Processes, Part 1*. United States of America: American Welding Society Education Department.
- American Welding Society. (2008). *Welding Inspection Technology Fifth Edition*. United States of America: American Welding Society Education Department.
- American Welding Society. (2015). *Structural Welding Code AWS D1.1*. United States of America: American Welding Society Education Department.
- ASM International. (1991). *ASM Metal Handbook Volume 4 Heat Treating*. Ohio: ASM International Handbook Committee.
- ASM International. (1993). *ASM Metal Handbook Volume 1 Properties and Selection: Irons Steel and High Performance Alloy*. Ohio: ASM International Handbook Committee.
- ASM International. (1993). *ASM Metal Handbook Volume 6 Welding, Brazing and Soldering*. Ohio: ASM International Handbook Committee.
- ASM International. (2004). *ASM Metal Handbook Volume 9 Metallography and Microstructures*. Ohio: ASM International Handbook Committee.
- ASME Boiler and Pressure Vessel Code. (2017). *Section II Materials Part.A Ferrous Material Specification*. New York: ASME Boiler and Pressure Vessel Committee.
- ASME Boiler and Pressure Vessel Code. (2017). *Section III Rules for Construction Of Nuclear Facility Components, Divison 1*. New York: ASME Boiler and Pressure Vessel Committee.

- ASME Boiler and Pressure Vessel Code. (2017). *Section IX Qualification Standard for Welding, Brazing, and Fusing Procedures; Welders; Brazers; and Welding, Brazing, and Fusing Operators*. New York: ASME Boiler and Pressure Vessel Committee.
- ASTM A36. (1997). *Standart Specification of Carbon Structural Steel*. Washington: American Society for Testing and Material.
- ASTM E23. (2007). *Standart Test Method for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials*. West Conshohocken: ASTM International.
- Biro Klasifikasi Indonesia Volume V. (2018). *Rules for Materials*. Jakarta: Biro Klasifikasi Indonesia.
- Biro Klasifikasi Indonesia Volume VI. (2015). *Rules for Welding*. Jakarta: Biro Klasifikasi Indonesia.
- Callister, J. W. (2007). *Materials Science and Engineering*. Utah: John Wiley & Sons, Inc.
- Electric Power Research Institute. (2007). *Carbon Steel Hand Book*. California: Palo Alto.
- H.Wiryosumarto. (2000). *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: PT.Pradnya Paramita.
- Irvansyah, S. (2014). *Analisa Pengaruh Aplikasi Preheat dan Post Weld Heat Treatment (PWHT) pada Pengelasan Baja Karbon A36 menggunakan Backing Material dengan Metode FCAW terhadap Sifat Mekanik dan Metalurgi*. Surabaya: Departemen Teknik Perkapal, ITS.
- Japan Welding Engineering Society. (2006). *Advanced Welding and Joining Technologies*. Tokyo: Japan Welding Society.
- JWES & IWS. (2011). *Teknologi Pengelasan*. Tokyo: Japan Welding Society.
- Kabutey A., C. R. (2011). *Perubahan Sifat Mekanik dalam Substrat selama Deposit Pengelasan Ulang*. Prague: Czech University of Life Sciences Prague.
- Kato, M. (2013). *Hall-Petch Relationship and Dislocation Model for Deformation of Ultrafine-Grained and Nanocrystalline Metals*. Yokohama: Tokyo Institute of Technology.

- Prasetyo, A. (2014). *Analisa Pengaruh Preheating terhadap Ductilias Material Baja Karbon High Tensile AH36 pada Pondasi Mesin di Kapal*. Surabaya: Departemen Teknik Perkapalan, ITS.
- R.S.Funderburk. (1997). Advancing Arc Welding Design and Practice Worldwide. In *Welding innovation*.
- Wibowo, P. (2015). *Analisis Pengaruh Preheat atau Pemanasan Awal terhadap Hasil Pengelasan Ulang Alumunium 5083 ditinjau dari Sifat Mekanik dan Metalurgi pada Lambung Kapal*. Surabaya: Departemen Teknik Perkapal, ITS.
- Wienpy, P. (2017). *Analisa Pengaruh Post Weld Heat Treatment terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro pada Pengelasan Ulang Baja Karbon A36 pada Pondasi Mesin Kapal*. Surabaya: Departemen Teknik Perkapal, ITS.

LAMPIRAN

LAMPIRAN A PERALATAN DAN BAHAN

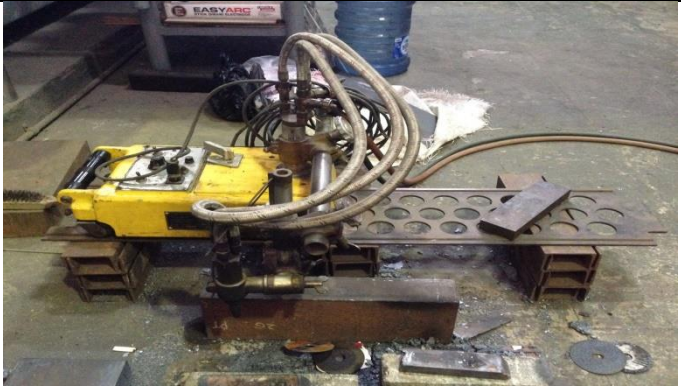


LAMPIRAN B WPS DAN MILL TEST CERTIFICATE

LAMPIRAN C DATA HASIL PENGUJIAN

LAMPIRAN A PERALATAN DAN BAHAN




Berikut adalah lampiran mengenai peralatan dan bahan yang digunakan selama proses penelitian, dimulai dari peralatan dan pembuatan spesimen, peralatan pengelasan, pembuatan spesimen uji dan peralatan pada saat proses pengujian.





Peralatan Penelitian

No	Nama Alat	Gambar
1	<i>Grooving Machine</i>	
2	Batu Gerinda	
3	Kertas Gosok	

4	Bahan Etsa Material	
---	---------------------	--

Peralatan Pengelasan

No	Nama Alat	Gambar
1	Mesin Las FCAW	
2	Kawat Las E 71-T1	
3	<i>Oxy Acetylene Gas</i>	

4	<i>Torch</i>	
5	<i>Infrared Thermometer</i>	
6	<i>Welding Helmet</i>	
7	<i>Welding Glove</i>	


8	Palu dan Sikat	
---	----------------	--

Peralatan Persiapan Material Uji

No	Nama Alat	Gambar
1	Mesin Gergaji	
2	Mesin Gerinda	
3	Ragum	

4	Mesin Poles	
5	Kikir	
6	Jangka Sorong	
7	<i>Hair Dryer</i>	

Peralatan Pengujian

No	Nama Alat	Gambar
1	<i>Universal Testing Machine</i>	 <p>A green universal testing machine with a large circular dial on the left and a vertical frame with a specimen being tested in the center.</p>
2	Alat Uji Kekerasan <i>Vickers</i>	 <p>A white Vickers hardness testing machine with a black base and a digital display on the front.</p>
3	Alat Uji <i>Impact</i>	 <p>A green impact testing machine with a large circular dial on the left and a metal mesh screen in the background.</p>
4	<i>Optical Microscope</i>	 <p>A black optical microscope with a white base and a digital display on the front.</p>

LAMPIRAN B

WPS DAN MILL TEST CERTIFICATE

Pada lampiran B terlampir WPS pengelasan yang dilakukan di laboratorium teknologi produksi dan manajemen perkapalan serta mill test certificate baja ASTM A36.

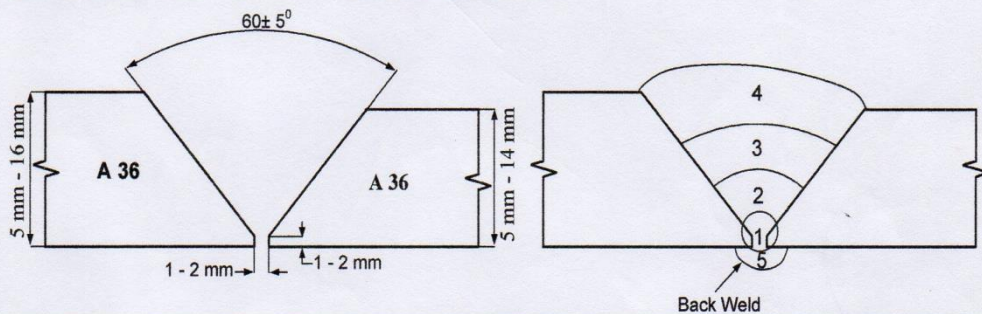
WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS)

Manufacturer	BIMANTARA HARYUDANTO P.		Rev.	0	Date	November 6, 2017
WPS No.	-				Date	-
Supporting PQR No.	-					
Reference	AWS D1.1					
Welding Process (es)	FCAW	Type	Semi Automatic			

JOINTS

Type	BW (Butt Weld)	Root Opening	1 - 2 mm
Single / Double Weld	Single	Root Face Dimension	1 - 2 mm
Backing	N/A	Groove Angle	$60^{\circ} \pm 5^{\circ}$
Backing Material	Weld Metal	Back Gouging	N/A
		Methode	N/A

WELD PREPARATION DETAILS / WELDING SEQUENCE



BASE METALS

Material specification	A 36 to A 36
Type or Grade	-
Thickness Range :	
Base Metal	Groove
Pipe Dia. Range	5 mm to 32 mm (Unlimited)
Fillet	N/A

FILLER METALS

	FCAW
Specification No. (SFA)	A 5.36
AWS No. (Classification)	E71T-1
Size of Filler Metals	$\varnothing 1.0 - 1.2 \text{ mm}$
Weld Metal Thickness (mm)	
Groove	32 mm max.
Fillet	All
Trade Name	ESAB or equivalent
Consumable Insert	N/A

WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS)

WPS No. -

Rev. 0

POSITION Position(s) of Welding <u> 1 G </u> Welding Progression <u> - </u> Position(s) of Fillet <u> N/A </u>				POST WELD HEAT TREATMENT Temperature Range <u> N/A </u> Time Range <u> N/A </u> Rate of heating <u> N/A </u> Rate of heating/cooling <u> N/A </u>																							
PREHEAT Preheat Temperature Max. <u> 200°C </u> Interpass Temperature Max. <u> 300°C </u> Preheat Maintenance <u> N/A </u>				GAS <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <tr> <th style="text-align: center;">Gas(es)</th> <th style="text-align: center;">Mixture Composition (%)</th> <th style="text-align: center;">Flow Rate (Liter/Minute)</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">CO₂</td> <td style="text-align: center;">N/A</td> <td style="text-align: center;">10 - 25</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">N/A</td> <td style="text-align: center;">N/A</td> <td style="text-align: center;">N/A</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">N/A</td> <td style="text-align: center;">N/A</td> <td style="text-align: center;">N/A</td> </tr> </table>				Gas(es)	Mixture Composition (%)	Flow Rate (Liter/Minute)	CO ₂	N/A	10 - 25	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A								
Gas(es)	Mixture Composition (%)	Flow Rate (Liter/Minute)																									
CO ₂	N/A	10 - 25																									
N/A	N/A	N/A																									
N/A	N/A	N/A																									
ELECTRICAL CHARACTERISTICS <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 40%;">Current AC or DC</td> <td style="width: 20%; text-align: center;"><u> DC </u></td> <td style="width: 20%;">Polarity</td> <td style="width: 20%; text-align: center;"><u> EN </u></td> </tr> <tr> <td>Ampere (Range)</td> <td style="text-align: center;"><u> 100 - 300 </u></td> <td>Volts (Range)</td> <td style="text-align: center;"><u> 22 - 33 </u></td> </tr> <tr> <td>Tungsten Electrode Size and Type</td> <td colspan="3" style="text-align: center;"><u> N/A </u></td> </tr> <tr> <td>Mode of Metal Transfer for GMAW</td> <td colspan="3" style="text-align: center;"><u> N/A </u></td> </tr> <tr> <td>Electrode Wire Feed Speed Range</td> <td colspan="3" style="text-align: center;"><u> N/A </u></td> </tr> </table>						Current AC or DC	<u> DC </u>	Polarity	<u> EN </u>	Ampere (Range)	<u> 100 - 300 </u>	Volts (Range)	<u> 22 - 33 </u>	Tungsten Electrode Size and Type	<u> N/A </u>			Mode of Metal Transfer for GMAW	<u> N/A </u>			Electrode Wire Feed Speed Range	<u> N/A </u>				
Current AC or DC	<u> DC </u>	Polarity	<u> EN </u>																								
Ampere (Range)	<u> 100 - 300 </u>	Volts (Range)	<u> 22 - 33 </u>																								
Tungsten Electrode Size and Type	<u> N/A </u>																										
Mode of Metal Transfer for GMAW	<u> N/A </u>																										
Electrode Wire Feed Speed Range	<u> N/A </u>																										
TECHNIQUE <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 40%;">String or Weave Bead</td> <td style="text-align: center;"><u> Both </u></td> </tr> <tr> <td>Orifice or Gas Cup Size</td> <td style="text-align: center;"><u> 12 - 16 mm </u></td> </tr> <tr> <td>Initial and Interpass cleaning</td> <td style="text-align: center;"><u> Brushing & Grinding </u></td> </tr> <tr> <td>Method of Back Gouging</td> <td style="text-align: center;"><u> N/A </u></td> </tr> <tr> <td>Oscillation</td> <td style="text-align: center;"><u> N/A </u></td> </tr> <tr> <td>Contact Tube to Work Distance</td> <td style="text-align: center;"><u> 6 - 11 mm </u></td> </tr> <tr> <td>Multiple or Single Pass (per side)</td> <td style="text-align: center;"><u> Multiple </u></td> </tr> <tr> <td>Multiple or Single Electrodes</td> <td style="text-align: center;"><u> Single </u></td> </tr> <tr> <td>Travel Speed (Range)</td> <td style="text-align: center;"><u> See Table </u></td> </tr> <tr> <td>Peening</td> <td style="text-align: center;"><u> N/A </u></td> </tr> <tr> <td>Other</td> <td style="text-align: center;"><u> N/A </u></td> </tr> </table>						String or Weave Bead	<u> Both </u>	Orifice or Gas Cup Size	<u> 12 - 16 mm </u>	Initial and Interpass cleaning	<u> Brushing & Grinding </u>	Method of Back Gouging	<u> N/A </u>	Oscillation	<u> N/A </u>	Contact Tube to Work Distance	<u> 6 - 11 mm </u>	Multiple or Single Pass (per side)	<u> Multiple </u>	Multiple or Single Electrodes	<u> Single </u>	Travel Speed (Range)	<u> See Table </u>	Peening	<u> N/A </u>	Other	<u> N/A </u>
String or Weave Bead	<u> Both </u>																										
Orifice or Gas Cup Size	<u> 12 - 16 mm </u>																										
Initial and Interpass cleaning	<u> Brushing & Grinding </u>																										
Method of Back Gouging	<u> N/A </u>																										
Oscillation	<u> N/A </u>																										
Contact Tube to Work Distance	<u> 6 - 11 mm </u>																										
Multiple or Single Pass (per side)	<u> Multiple </u>																										
Multiple or Single Electrodes	<u> Single </u>																										
Travel Speed (Range)	<u> See Table </u>																										
Peening	<u> N/A </u>																										
Other	<u> N/A </u>																										
WELD LAYER	PROCESS	FILLER METAL		CURRENT		VOLT RANGE	TRAVEL SPEED RANGE <small>(mm/minute)</small>	Heat Input <small>(J/mm)</small>																			
		CLASS	DIAMETER <small>(mm)</small>	TYPE of POLARITY	AMPERE RANGE																						
Root	FCAW	E71T-1	1.0 - 1.2	DCEN	150 - 220	22 - 30	80 - 95	2475 - 4168																			
Hot	FCAW	E71T-1	1.0 - 1.2	DCEN	200 - 300	23 - 32	100 - 170	2760 - 3388																			
Fill	FCAW	E71T-1	1.0 - 1.2	DCEN	200 - 300	23 - 32	100 - 160	2760 - 3600																			
Cap	FCAW	E71T-1	1.0 - 1.2	DCEN	200 - 300	23 - 32	100 - 160	2760 - 3600																			
Back Weld	FCAW	E71T-1	1.0 - 1.2	DCEN	200 - 300	23 - 32	200 - 260	1380 - 2215																			
Prepared by, BIMANTARA HARYUDANTO P.				Reviewed by,		Approved by,																					

Mill Test Certificate

Sertifikat Pengujian Pabrik

Certificate No./No.Sertifikat : 141109-FPQ8II-00002-0001
Date of Issue/Tanggal Penerbitan : Nov., 09, 2014

Order No./No.Pemesanan : Q8S1001199

PO No./No.Pemesanan Pembelian : III/23/9/14

Supplier : PT BENTENG ANUGERAH SEJAHTERA
/Pemasok

Commodity : PLATE
/Komoditas

Customer : PT BENTENG ANUGERAH SEJAHTERA
/Pelanggan

Spec & Type
Jenis dan spesifikasi : K1-A

Size/Ukuran	Product No. /No. Produk	Quantity /Kuantitas	Weight /Berat (kg)	Heat No. /No. Charge	Position	Tensile Test		Chemical Composition (%)											Division
						YP	TS	EL	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	CEQ	
14x1524x6096	PK04904001-4002	2	2,042	SK04881	T	301	446	30	0.1519	0.221	0.691	0.0116	0.0032	0.010	0.000	0.007	0.000	0.267	L
14x1524x6096	PK04904005-4006	2	2,042	SK04881	T	301	446	30	0.1519	0.221	0.691	0.0116	0.0032	0.010	0.000	0.007	0.000	0.267	L
14x1524x6096	PK04903801-3003	6	6,126	SK04904	T	299	454	30	0.1517	0.241	0.687	0.0121	0.0026	0.010	0.000	0.006	0.000	0.266	L
... Sub Total (010) ...						CEQ (A) = C + Mn/6													
16x1524x6096	PK04808001-0803	6	7,002	SK04345	T	287	449	33	0.1516	0.245	0.693	0.0143	0.0030	0.010	0.000	0.004	0.000	0.262	L
16x1524x6096	PK04805001-0905	6	7,002	SK04349	T	282	442	31	0.1545	0.247	0.664	0.0146	0.0032	0.010	0.000	0.004	0.000	0.265	L
16x1524x6096	PK04903803-3805	3	3,501	SK04904	T	298	454	30	0.1517	0.241	0.687	0.0121	0.0026	0.010	0.000	0.006	0.000	0.266	L
... Sub Total (020) ...						CEQ (A) = C + Mn/6													
20x1524x6096	PK04926201-6205	5	7,295	SK04881	T	301	446	30	0.1519	0.221	0.691	0.0116	0.0032	0.010	0.000	0.007	0.000	0.267	L
20x1524x6096	PK04926301-6305	5	7,295	SK04881	T	301	446	30	0.1519	0.221	0.691	0.0116	0.0032	0.010	0.000	0.007	0.000	0.267	L
... Sub Total (030) ...						CEQ (A) = C + Mn/6													
25x1524x6096	PK04873201-3205	5	9,115	SK04859	T	301	444	30	0.1482	0.204	0.857	0.0111	0.0038	0.010	0.000	0.015	0.000	0.291	L
25x1524x6096	PK04873301-3305	5	9,115	SK04860	T	307	450	30	0.1445	0.192	0.853	0.0112	0.0035	0.010	0.000	0.014	0.000	0.287	L
... Sub Total (040) ...						CEQ (A) = C + Mn/6													

* Position : T - Top, M - Middle, B - Bottom
* Tensile Test : Direction : Transversal, Gauge Length : 200mm(Rectangular),
* Method : Upper and Lower
* Division : Longitudinal
* Supply Condition : As-Received unless otherwise Heat Treated
* IACS UR W13 applied. Actual Weight Thickness \geq Nominal Thickness

We hereby certify that the material has been made by an approved process in accordance with the rules of BIRO KLASIFIKASI INDONESIA and has been satisfactorily tested in the presence of the Society's representative.
No repair welding was performed to the products.
This material is fine grained steel.
This material has been fully killed and made by basic oxygen process.
Test Certificate is issued according to EN10204 3.2.

This Mill Test Certificate cannot be copied for any purpose.

Subjektor To : BKI



BIRO KLASIFIKASI INDONESIA
SERTIFIKAT PERSETUJUAN KAWAT LAS
Certificate of Approval for Welding Consumables

No. 183.16.TP01925

No. Persetujuan : 16TA149

No. approval

Tanggal persetujuan : 2 November 2016

Date of approval

Dengan ini dinyatakan bahwa kawat las yang tersebut dibawah ini
This is to certify that the welding consumables described below

Jenis kawat las <i>Type of welding consumables</i>	: Flux-cored Wire Electrode
Pembuat kawat <i>Wire manufacturer</i>	: ESAB SeAH Welding Products (Yantai) Co., Ltd. No.8 Taizhou Road, E&T Development Area, Yantai, Shandong, China.
Merek <i>Brand</i>	: Weld 71T-1
Pembuat fluks <i>Flux manufacturer</i>	: N/A
Merek <i>Brand</i>	: N/A
Klasifikasi (DIN, EN, ISO, AWS dll.) <i>Classification (DIN, EN, ISO, AWS, etc.)</i>	: AWS A5.36 – E71T1-C1A0-CS1-H8 ISO 17632-A T 42 2 P C1 1 H10

telah disetujui oleh BIRO KLASIFIKASI INDONESIA berdasarkan uji persetujuan yang telah
has been approved by BIRO KLASIFIKASI INDONESIA based upon the approval test conducted
dilaksanakan sesuai dengan Peraturan BKI dan diberikan persetujuan dengan lingkup sbb :
in accordance with BKI Rules and given approval as follows:

Kualitas & simbol tambahan <i>Grade & added symbol</i>	: 3YH10SM
Proses las <i>Welding process</i>	: 136 – Tubular Cored Metal Arc Welding with active gas shield
Posisi las <i>Welding position</i>	: All welding positions
Diameter <i>Diameter</i>	: 1.2 – 1.6 mm
Arus las/polaritas <i>Welding current/polarity</i>	: DC (+)
Material & perlakuan panas (pasca-las) <i>Material & (post-weld) heat treatment</i>	: KI-A ~ KI-E ; KI-A32 ~ KI-E36 ¹⁾

Sertifikat ini berlaku sampai dengan tanggal tersebut dibawah dengan syarat dilakukan pengujian tahunan
This certificate is valid until the stated date below provided that annual test carried out

secara berkala dan pengesahan pada halaman belakang sertifikat.
regularly and endorsement given at the back side of certificate.

Sertifikat ini berlaku sampai dengan : 1 November 2021
This certificate is valid until

Jakarta, 9 November 2016

a.n. Direksi
Direktur Klasifikasi
o.b. Board of Director
Director of Classification

Capt. Iman Satria Utama

¹⁾ For plates over 50 to 70 mm thick, welding consumables and materials with one quality grade higher shall be used and for those over 70 and up to 100 mm thick those with two quality grades higher shall be used.
Untuk pelat dengan tebal lebih dari 50 sampai 70 mm, harus menggunakan kawat las dengan grade satu tingkat lebih tinggi dan untuk pelat tebal lebih dari 70 sampai dengan 100 mm, harus menggunakan grade 2 tingkat lebih tinggi.



INSPECTION CERTIFICATE (3.1) - Chemical analysis TEST REPORT (2.2) - Mechanical properties

ESAB SeAH Welding Products(Yantai) Co., Ltd

No.8 Taizhou RD,E&T Development Area,

Yantai, Shandong, China 264006

TEL: 0535-397-5071 FAX: 0535-397-5090

Certificate No: 17-0000-1022

Issued Date : 2017.09.07

Brand Name : Weld 71T-1

Customer Name : PT.ESABINDO PRATAMA

P/O No. : 5517100563

Item No. : 15T412247V

EAN Code : 7330129274482

Diameter Size : 1.2 mm

Weight : 11880 KG

Lot Number : F160A7G472

Shielding Gas : 100% CO₂

Classification:

AWS A5.20/A5.20M,ASME SFA-5.20/5.20M

AWS A5.36/A5.36M,ASME SFA-5.36/5.36M

Type : AWS A5.20 E71T-1C H8(E491T-1C H8)

A5.36 E71T1-C1A2-CS1-H8

Chemical
Compositions
(EN 10204 - 3.1)

Specification
Requirements

C	0.033	MAX	0.12
Mn	1.440	MAX	1.75
Si	0.322	MAX	0.90
S	0.004	MAX	0.03
P	0.014	MAX	0.03
Cr	0.036	MAX	0.20
Ni	0.016	MAX	0.50
Mo	0.004	MAX	0.30
V	0.020	MAX	0.08
Cu	0.007	MAX	0.35
Al			N/A
Ti			N/A
Co			N/A
Cb+Ta			N/A
Fe			N/A
Zn			N/A
Be			N/A
Pb			N/A
Sn			N/A
W			N/A
Others			N/A

Mechanical
Properties

As welded
(EN 10204 - 2.2)

Specification
Requirements

As welded

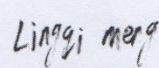
Tensile Test		
Y.S.(0.2%) Mpa	548	MIN 390
T.S. Mpa	593	490-670
Elongation (2")%	27	MIN 22
Reduction of Area,%	70	N/A

Impact(Charpy V-Notch)

Temp.	Joule	Joule
-20°C	107	MIN 27

Remarks:

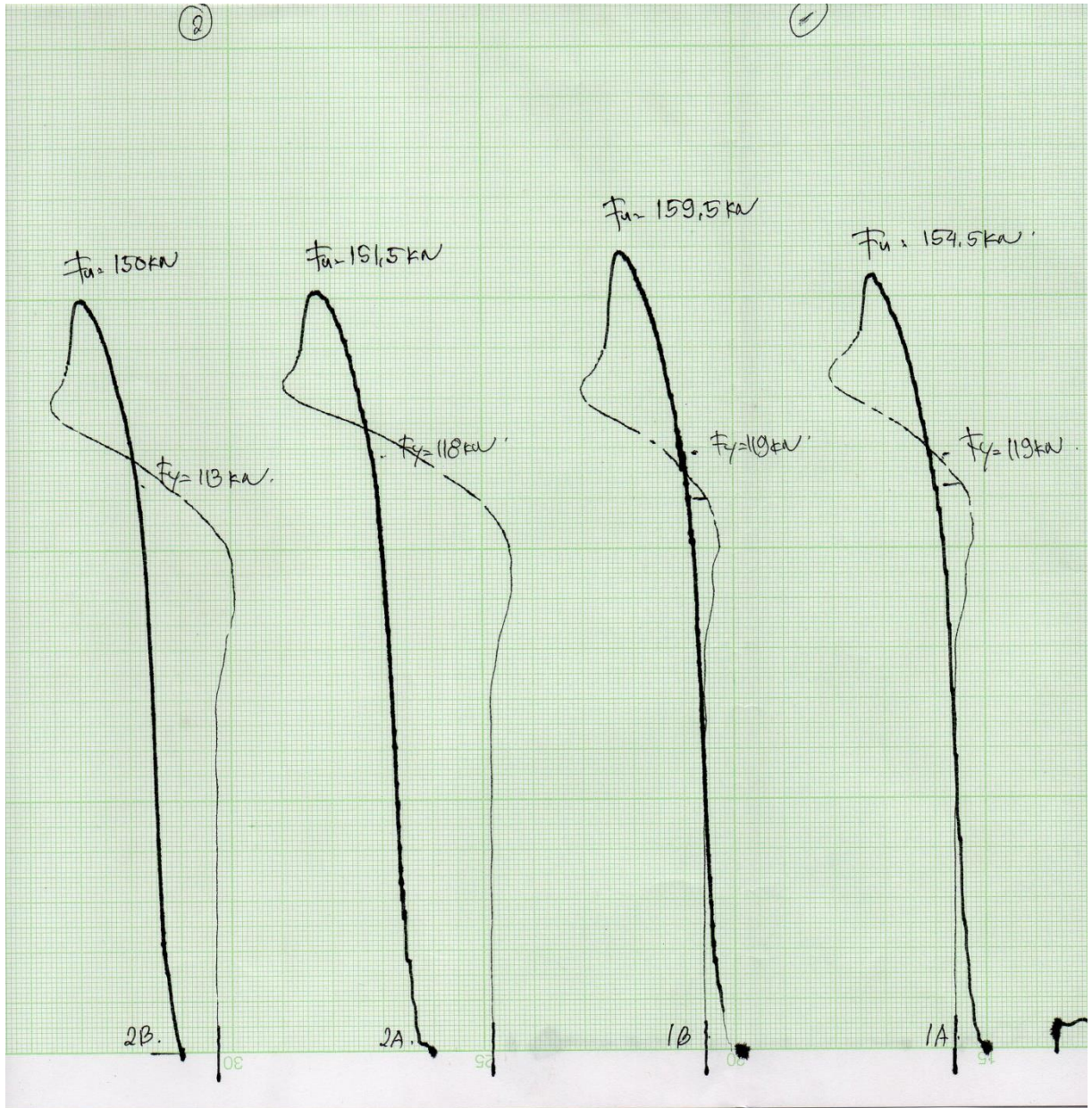
The undersigned certifies that the product supplied will meet the requirements of the applicable AWS, material specification and these other requirements designated by the customer's purchase order.

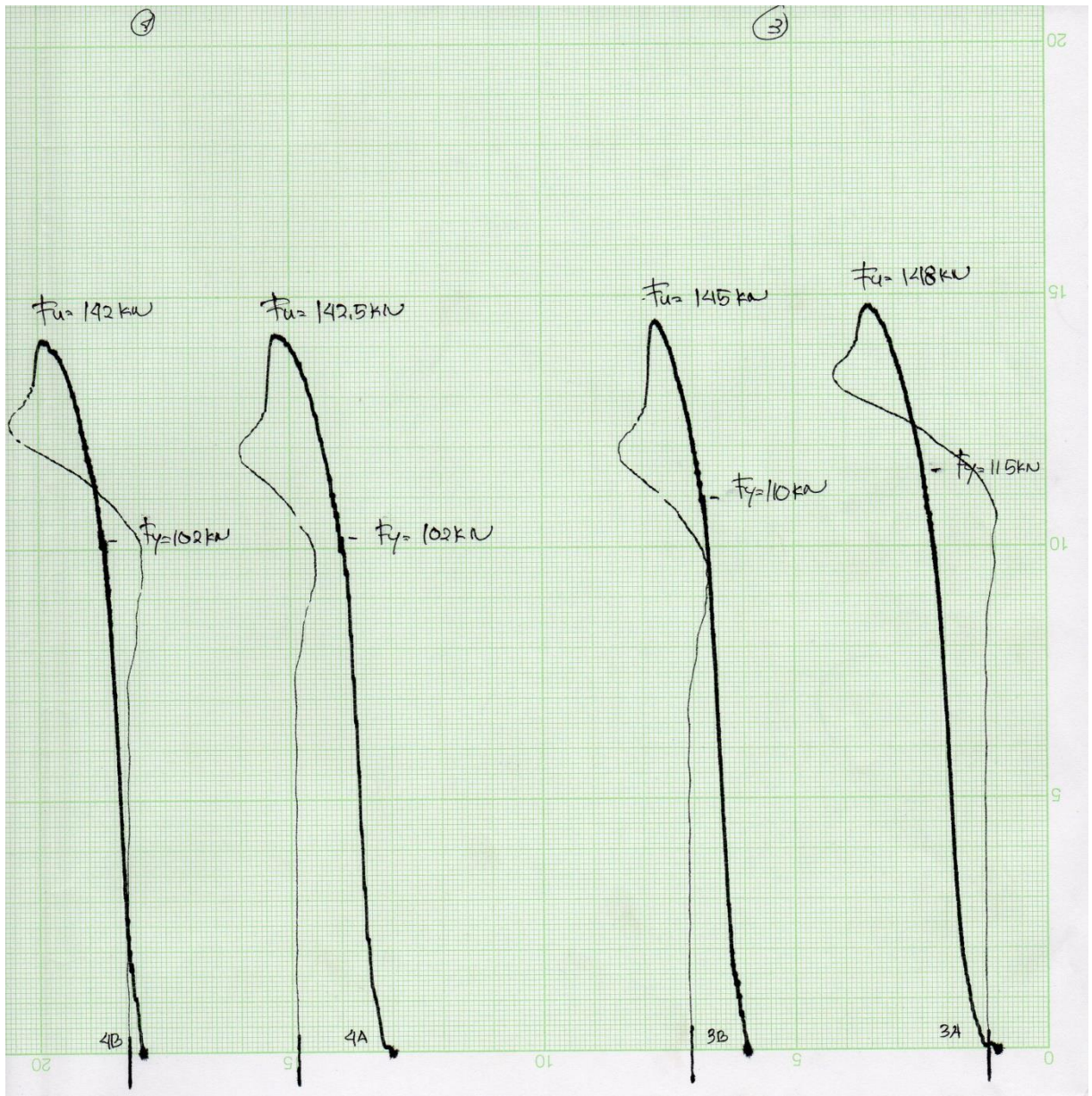
BY : 
Name: Quality Manager

LAMPIRAN C

DATA HASIL PENGUJIAN

Pada lampiran C melampirkan data-data hasil dari pengujian tarik, pengujian kekerasan dan pengujian *impact* yang mendukung dalam pengerjaan tugas akhir.





Test Coupon 1



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

LABORATORIUM KONSTRUKSI DAN KEKUATAN KAPAL
DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
Gedung W – Lantai 1, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp./Fax. 031 599 4933, Email: labkonjtp@gmail.com

REPORT ON TEST RESULT NO. :

/IT2.4.1.1/PM.05.02/20

DATE : 26 April 2018
ORDER FROM : BIMANTAKA HP
TEST STANDARD : BKI Vol VI Sec. II
WPQT NO. :
PQR NO. :
JOINT DESIGN : Butt Joint
MATERIAL SPEC. : ASTM A36
THICKNESS / DIA. : 16 mm to 19 mm
WELDING PROCESS : FCAW
TEST POSITION : 1G
WELDER NAME : Pak Pardi
ELECTRODE : E 71T-1

1. TENSION TEST

NO	CODE MATERIAL	SPECIFICATION SAMPLE				TENSILE TEST RESULTS				REMARK
		WIDTH	THICK	DIA.	CSA	YIELD STRESS	ULTIMATE STRESS	ELONGATION	REDUCT. of AREA	
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm ²)	(MPa)	(MPa)	(%)	(%)	
1.	1A	19.06	13.55		258.26	460.78	598.23			
2.	1B	19.04	13.59		258.75	459.9	616.43			
NO	F. YIELD		F. ULTIMATE		Lo	L1	D1 / Wd.1	Th.1	A1	
	KN	N	KN	N						
1	119	119000	154.5	154500						
2	119	119000	159.5	159500						

2. IMPACT TEST

TEMPERATUR 29 °C

NO	IDENTIFICATION	LENGTH	WIDTH	THICK.	JOULE	Wd 1	LATERAL EXPANTION
		(mm)	(mm)	(mm)	(N)	(mm)	
1.	1.1	55.35	10.08	8.06	126		
2.	1.2	55.34	10.06	8.03	134		
3.	1.3	55.39	10.09	8.05	136		

Witnessed by :

The Laboratory Of Ships Strength And Construction
FT. Kelautan ITS

1.	
2.	
3.	
4.	
5.	



Test Coupon 2



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

**LABORATORIUM KONSTRUKSI DAN KEKUATAN KAPAL
DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN**

**FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**
Gedung W – Lantai 1, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp./Fax. 031 599 4933, Email: labkonjtp@gmail.com

REPORT ON TEST RESULT NO. :

/IT2.4.I.1/PM.05.02/20

DATE : 26 April 2018
ORDER FROM : BIMANTARA HP
TEST STANDARD : BKI Vol. VI. Sec. II
WPQT NO.
PQR NO.
JOINT DESIGN : Butt Joint
MATERIAL SPEC. : ASTM A36
THICKNESS / DIA. : 16 mm to 14 mm
WELDING PROCESS : FCAW
TEST POSITION : 1G
WELDER NAME : Pak Pardi
ELECTRODE : E71T-1

1. TENSION TEST

NO	CODE MATERIAL	SPECIFICATION SAMPLE				TENSILE TEST RESULTS				REMARK
		WIDTH	THICK	DIA.	CSA	YIELD STRESS	ULTIMATE STRESS	ELONGATION	REDUCT. of AREA	
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm ²)	(MPa)	(MPa)	(%)	(%)	
1.	2A	19.07	13.63		259.92	453.99	582.87			
2.	2B	19.01	13.56		257.78	438.36	581.89			

NO	F. YIELD		F. ULTIMATE		Lo	L1	D1 / Wd.1	Th.1	A1
	KN	N	KN	N					
1.	118	118000	151.5	151500					
2.	113	113000	150	150000					

2. IMPACT TEST

TEMPERATUR °C

NO	IDENTIFICATION	LENGTH	WIDTH	THICK.	JOULE	Wd 1	LATERAL EXPANTION
		(mm)	(mm)	(mm)	(N)	(mm)	
1.	2.1	55.24	10.02	8.04	137.5		
2.	2.2	55.27	10.08	8.01	135		
3.	2.3	55.30	10.06	8.03	138.5		

Witnessed by :

The Laboratory Of Ships Strength And Construction
FT. Kelautan ITS

1.	
2.	
3.	
4.	
5.	



Test Capon 3



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

LABORATORIUM KONSTRUKSI DAN KEKUATAN KAPAL
DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
Gedung W – Lantai 1, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp./Fax. 031 599 4933, Email: labkonjtp@gmail.com

REPORT ON TEST RESULT NO. :

/IT2.4.1.1/PM.05.02/20

DATE : 26 April 2018
ORDER FROM : BIMANTARA HP
TEST STANDARD : BKI Vol. VI Sec. II
WPQT NO.
PQR NO.
JOINT DESIGN : Butt Joint
MATERIAL SPEC. : ASTM A36
THICKNESS / DIA. : 16 mm to 14 mm
WELDING PROCESS : FLAW
TEST POSITION : 1 G
WELDER NAME : Pak Pardi
ELECTRODE : E 71 T-1

1. TENSION TEST

NO	CODE MATERIAL	SPECIFICATION SAMPLE				TENSILE TEST RESULTS				REMARK
		WIDTH	THICK	DIA.	CSA	YIELD STRESS	ULTIMATE STRESS	ELONGATION	REDUCT. of AREA	
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm ²)	(MPa)	(MPa)	(%)	(%)	
1.	3A	19.08	13.56		258.73	444,48	572,02			
2.	3B	19.03	13.60		258.81	425,02	560,26			
NO	F. YIELD		F. ULTIMATE		Lo	L1	D1 / Wd.1	Th.1	A1	
	KN	N	KN	N						
1.	115	115000	148	148000						
2.	110	110000	145	145000						

2. IMPACT TEST

TEMPERATUR 29 °C

NO	IDENTIFICATION	LENGTH	WIDTH	THICK.	JOULE	Wd 1	LATERAL EXPANTION
		(mm)	(mm)	(mm)	(N)	(mm)	
1.	3.1	55.40	10.05	8.06	140		
2.	3.2	55.39	10.04	8.05	136.5		
3.	3.3	55.35	10.07	8.02	137		

Witnessed by :

The Laboratory Of Ships Strength And Construction
FT. Kelautan ITS

1.	
2.	
3.	
4.	
5.	



Test Coupon 4



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

LABORATORIUM KONSTRUKSI DAN KEKUATAN KAPAL
DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
Gedung W – Lantai 1, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp./Fax. 031 599 4933, Email: labkonjtp@gmail.com

REPORT ON TEST RESULT NO. :

/IT2.4.1.1/PM.05.02/20

DATE : 26 April 2018
ORDER FROM : BIMANTARA HP
TEST STANDARD : BKI Vol. VI. Sec. II
WPQT NO.
PQR NO.
JOINT DESIGN : Butt joint
MATERIAL SPEC. : ASTM A36
THICKNESS / DIA. : 16 mm to 19 mm
WELDING PROCESS : FCAW
TEST POSITION : 1G
WELDER NAME : Pak Paroh
ELECTRODE : E71T-7

1. TENSION TEST

NO	CODE MATERIAL	SPECIFICATION SAMPLE				TENSILE TEST RESULTS				REMARK
		WIDTH	THICK	DIA.	CSA	YIELD STRESS	ULTIMATE STRESS	ELONGATION	REDUCT. of AREA	
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm ²)	(MPa)	(MPa)	(%)	(%)	
1.	4 A	19.03	13.57		258.24	394.98	551.81			
2.	4 B	19.07	13.54		258.21	395.03	549.94			
NO	F. YIELD		F. ULTIMATE		Lo	L1	D1 / Wd.1	Th.1	A1	
	KN	N	KN	N						
1.	102	102000	142.5	142500						
2.	102	102000	142	142000						

2. IMPACT TEST

TEMPERATUR °C

NO	IDENTIFICATION	LENGTH	WIDTH	THICK.	JOULE	Wd 1	LATERAL EXPANTION
		(mm)	(mm)	(mm)	(N)	(mm)	
1.	4.1	55.51	10.08	8.02	137.5		
2.	4.2	55.53	10.01	8.00	140		
3.	4.3	55.48	10.05	8.03	139.5		

Witnessed by :

The Laboratory Of Ships Strength And Construction
FT. Kelautan ITS

1.	
2.	
3.	
4.	
5.	



Test Coupon 1



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

LABORATORIUM KONSTRUKSI DAN KEKUATAN KAPAL
JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
Gedung W - Lantai 1, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp./Fax. 031 599 4933

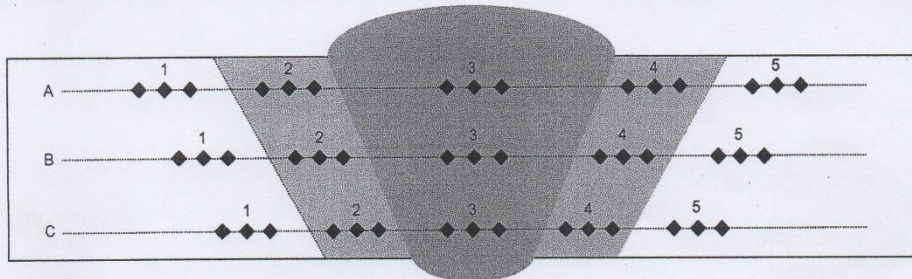
REPORT ON TEST RESULT NO. :

/IT2.4.1.1/PM.05.02/20

DATE :
ORDER FROM : Bimantara HP
TEST STANDARD :
MATERIAL SPEC. : ASTM A36

THICKNESS : 16 mm to 14 mm
WELDING PROCESS : FCAW
TEST POSITION : 16
WELDER : Pak Pardi

HARDNESS TEST



Location	Vickers Hardness Number (HV. 10)												
	Base Metal			H A Z		Weld Metal			H A Z		Base Metal		
	1			2		3			4		5		
A	155.8	153.9	159.7			170.3	167.8	171.9	170.9	176.1	176.6		
Average	156.5					170			177.2				
B	153.4	151.2	160.9			173.8	174.2	183	174	173.2	170.3		
Average	155.2					177			172.5				
C	156.2	153.6	157.8			206.6	206.3	187.8	174.6	175.4	176.8		
Average	155.9					200.2			175.6				

Equipment: Hardness Tester "Karl Frank GmbH"

Witnessed by :

The Laboratory of Ship Strength and Construction
FT. Kelautan - ITS



Test Coupon 2



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

LABORATORIUM KONSTRUKSI DAN KEKUATAN KAPAL
JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
Gedung W - Lantai 1, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp./Fax. 031 599 4933

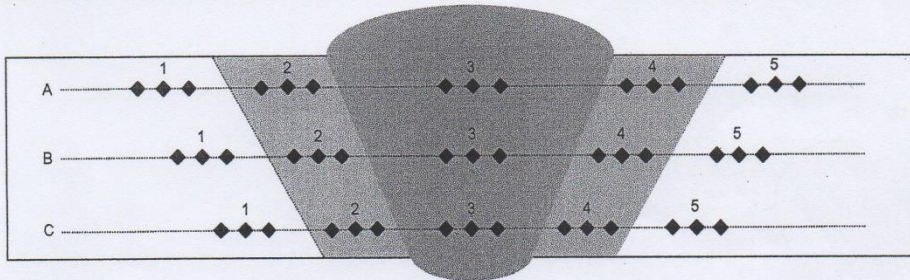
REPORT ON TEST RESULT NO. :

/IT2.4.1.1/PM.05.02/20

DATE :
ORDER FROM : *Bimantara HP*
TEST STANDARD :
MATERIAL SPEC. : *ASTM A36*

THICKNESS : *16 mm to 14 mm*
WELDING PROCESS : *FLAW*
TEST POSITION : *16*
WELDER : *Pak Panch*

HARDNESS TEST



Location	Vickers Hardness Number (HV. 10)											
	Base Metal			H A Z		Weld Metal			H A Z		Base Metal	
	1			2		3			4		5	
A	152.3	152.2	156.7			183.6	179.4	173.6	168	188.8	167.6	
Average	153.7					178.9			174.8			
B	154.3	159.4	155.6			186.1	184.7	187.6	167.7	162	159.2	
Average	156.4					186.1			163			
C	149.4	157.6	156.7			173.6	163.9	161.4	145.6	179.8	149.4	
Average	154.6					166.3			156.6			

Equipment: Hardness Tester "Karl Frank GmbH"

Witnessed by :

The Laboratory of Ship Strength and Construction
FT. Kelautan - ITS



Test Coupon 3



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember.

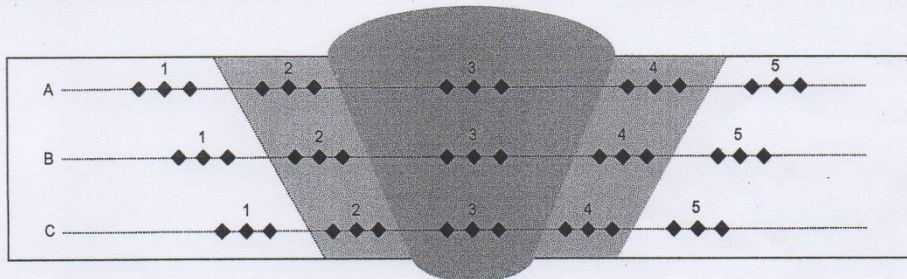
LABORATORIUM KONSTRUKSI DAN KEKUATAN KAPAL
JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
Gedung W - Lantai 1, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp./Fax. 031 599 4933

REPORT ON TEST RESULT NO. :

/IT2.4.1.1/PM.05.02/20

DATE :
ORDER FROM : *Bimantara HP*
TEST STANDARD :
MATERIAL SPEC. : *ASTM A36*
THICKNESS : *16 mm to 19 mm*
WELDING PROCESS : *FCAW*
TEST POSITION : *1G*
WELDER : *Pok Pardi*

HARDNESS TEST



Location	Vickers Hardness Number (HV. 10)											
	Base Metal			H A Z		Weld Metal		H A Z		Base Metal		
	1			2		3		4		5		
A	150.1	153.8	150.6			190.7	182.7	180.5	154.1	162	160.1	
Average	154.2					184.6		158.7				
B	152.6	155.1	152.3			161.4	159.2	153.3	150.7	161.1	158.6	
Average	153.3					158		156.8				
C	141.5	139.4	145.6			162.8	165.5	166.7	162.2	156.4	152.3	
Average	142.2					165		157				

Equipment: Hardness Tester "Karl Frank GmbH"

Witnessed by :

The Laboratory of Ship Strength and Construction
FT. Kelautan - ITS



Test Coupon 4



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

LABORATORIUM KONSTRUKSI DAN KEKUATAN KAPAL
JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
Gedung W - Lantai 1, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp./Fax. 031 599 4933

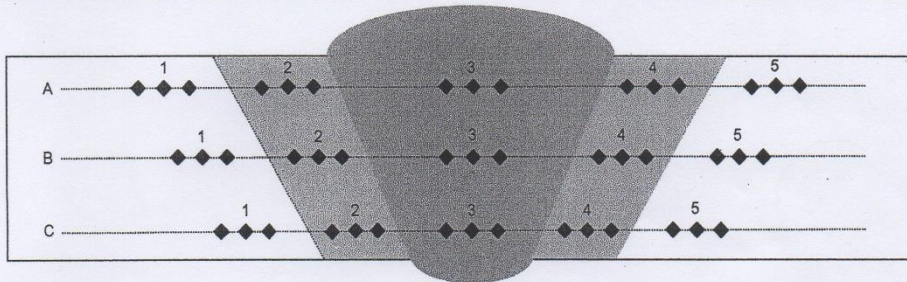
REPORT ON TEST RESULT NO. :

/IT2.4.I.1/PM.05.02/20

DATE :
ORDER FROM : *Bimantara HP*
TEST STANDARD :
MATERIAL SPEC. : *ASTM A36*

THICKNESS : *16 mm to 14 mm*
WELDING PROCESS : *FCAW*
TEST POSITION : *1G*
WELDER : *Pak Pardi*

HARDNESS TEST



Location	Vickers Hardness Number (HV. 10)												
	Base Metal			H A Z		Weld Metal			H A Z		Base Metal		
	1			2		3			4		5		
A	139.5	132	138.3			190	161.6	185.5	157.6	169.5	162.2		
Average	136.6					179			161.4				
B	131.7	149.5	156.7			177.2	177	147.7	161.1	163.5	147.4		
Average	146					167.3			157.3				
C	130.7	136.5	134.4			153.8	153.6	161.4	136.4	155.7	155.2		
Average	133.9					156.3			149.1				

Equipment: Hardness Tester "Karl Frank GmbH"

Witnessed by :

The Laboratory of Ship Strength and Construction
FT. Kelautan - ITS

Tester

BIODATA PENULIS



BIMANTARA HARYUDANTO PANGARIBOWO, Dilahirkan di Madiun, 12 November 1996. Dibesarkan di Madiun dan merupakan anak kedua dari tiga bersaudara dengan orang tua Kuwat dan Sri Purwantini Jarwatiningsih. Riwayat pendidikan formal penulis dimulai dari MI ISLAMİYAH Madiun (2003-2009), SMP Negeri 1 Madiun (2009-2011), SMA Negeri 2 Madiun (2011-2014) dan pada tahun 2014 setelah lulus dari SMA, penulis melanjutkan pendidikan S1 di Departemen Teknik

Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Di Departemen Teknik Perkapalan Penulis mengambil Bidang Studi Rekayasa Perkapalan – Konstruksi Kapal. Selama masa studi di ITS, selain kuliah Penulis juga pernah menjabat sebagai *staff* Kementerian PSDM BEM ITS 2015/2016, Ketua Divisi Departemen Dalam Negeri HIMATEKPAL 2015/2016 dan Kepala Departemen Dalam Negeri HIMATEKPAL 2016/2017. Selain itu, Penulis juga pernah mengikuti pelatihan LKMM Pra-TD dan LKMM TD FTK ITS serta mengikuti kepanitiaan sebagai SC NASDARC SAMPAN 9 ITS (Semarak Mahasiswa Perkapalan) dan OC GERIGI tahun 2015.

Untuk memenuhi persyaratan menjadi seorang Sarjana Teknik, Penulis mengambil Tugas Akhir dengan judul “Studi Pengaruh Pemanasan Awal Pada Pengelasan Ulang Baja ASTM A36 akibat Reparasi terhadap Sifat Mekanis menggunakan Proses Las FCAW”.

Email: bimahp.23@gmail.com (+62)81233124943